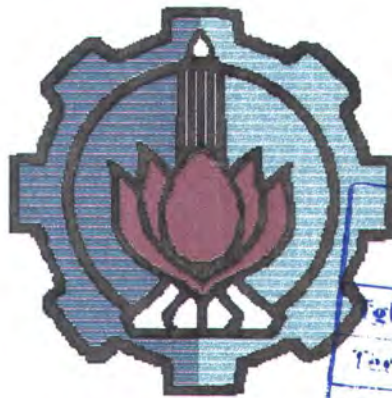


TUGAS AKHIR (NA 1701)

**ANALISA KERETAKAN
PADA STANCHION BRACKET AMBANG PALKAH
DI DAERAH TENGAH KAPAL PADA TONGKANG
"B.G. RAHMAT JAYA II"
PENGANGKUT SEMEN DAN BATUBARA**



RSPe
620.1126
Her
a-1
1999

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28 - 6 - 2000
Terima Dari	17
No. Agenda Prp.	21 - 4.32

Oleh :

ANDRIE HERMAWAN

4193.100.012

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

1999



LEMBAR PENGESAHAN

Telah direvisi sesuai dengan hasil sidang ujian Tugas Akhir

**ANALISA KERETAKAN PADA STANCHION BRACKET
AMBANG PALKAH DIDAERAH TENGAH KAPAL PADA
TONGKANG “B.G. RAHMAT JAYA II”
PENGANGKUT SEMEN DAN BATUBARA**



Oleh :

Andrie Hermawan
4193.100.012

Surabaya, 22 Pebruari 1999

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Soeweify, M.eng
NIP. 130.368.597

LEMBAR PENGESAHAN

Surabaya, Februari 1999

Mengetahui

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

A handwritten signature in brown ink, appearing to read 'Soe', with a long horizontal flourish extending to the right.

Ir. Soeweify, M.Eng
130.368.597

Abstraksi

Terjadinya keretakan yang dialami oleh tongkang B.G. Rahmat Jaya II pengangkut semen dan batu bara adalah kejadian yang tidak sering terjadi. Apalagi tongkang yang baru saja beroperasi. Hal inilah yang membuat penulis tergerak untuk menyelidiki kejadian tersebut dengan pendekatan akademis.

Keretakan yang terjadi di daerah Stanchion Bracket pada midship tongkang menjadikan hal menarik untuk dibahas dalam tugas akhir ini. Pembahasan kekuatan memanjang tongkang dengan variasi distribusi muatan dan perkiraan fatigue life yang terjadi mengakibatkan pendekatan – pendekatan yang dilakukan akan mendapatkan hasil yang sesuai dengan teori akademis yang ada.

Keretakan yang terjadi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi diperhitungkan sesuai dengan analisa keretakan dan prosedur terjadinya keretakan. Yang kesemuanya akan diulas satu persatu.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT atas berkah dan rahmat yang diberikan dan dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan bagi kelulusan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Perkapalan FTK - ITS .

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah mendukung, antara lain :

- Ir. Soeweify M.Eng selaku dosen pembimbing yang tak bosan-bosannya memberikan arahan dan saran- sarannya.
- Seluruh dosen di Jurusan Teknik Perkapalan ITS yang telah memberi penulis banyak pengetahuan.
- Kepala Jurusan, Sekretaris Jurusan dan Karyawan Teknik Perkapalan yang telah mengatur keperluan kuliah penulis.
- Dosen dan karyawan Pasca Sarjana Teknik Lautan ITS.
- Rekan-Rekan mahasiswa P-33 ITS atas seluruh bantuannya.
- Warga GK-22^A terima kasih ats dukungannya.
- Pihak – pihak lain yang tak bisa disebutkan satu persatu.

Surabaya, 10 Februari 1999

Penulis



DAFTAR ISI

Abstraksi	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Pendahuluan.....	1
1.1.1. Data Tongkang.....	2
1.1.2. Evaluasi Kondisi Tongkang.....	3
1.1.3. Klasifikasi Tongkang “B.G. Rahmat Jaya II”	3
1.2. Permasalahan.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Metodologi	5
1.5. Tujuan Penulisan	6
1.6. Manfaat Penulisan	6
BAB II. DASAR TEORI	
2.1. Teori Balok Elastis	8
2.1.1. Gaya Geser dan momen lentur pada balok	9
2.1.2. Tegangan Normal	12
2.2. Beban – beban pada struktur kapal.....	13
2.3. Beban statis kapal diar tenang	14

2.4. Beban akibat gelombang	19
II.5. Analisa respon struktur kapal	20
II.6. Teori keretakan	21
II.6.1. Faktor Konsentrasi Tegangan	23
II.7. Teori Fatigue Life.....	24
II.7.1. Stress Amplitudo	25

BAB III. ANALISA STRUKTUR

3.1. Pendahuluan	26
3.2. Pemodelan	26
3.3. Program Analisa Struktur	33
3.3.1. MSC. Nastran	34

BAB IV. ANALISA DATA HASIL PERHITUNGAN

4.1. Data Hasil Perhitungan	35
4.1.1. Kekuatan Memanjang	35
4.1.2. Data Penampang Melintang	37
4.2. Perhitungan Berdasarkan Rules BKI	38
4.3. Perhitungan Tegangan Normal Pada Deck	41
4.4. Program Analisa Struktur	42
4.5 Material Jenis SS 41	44
4.5.1. Tegangan Yield	45
4.5.2. Tegangan Ultimate	46
4.6. Analisa tegangan yang terjadi	47

BAB V. ANALISA KERETAKAN

5.1. Strees Amplitudo	49
5.2. Faktor Konsentrasi tegangan	49
5.3. Perhitungan Fatigue Life	52
5.3.1. Cycle yang telah diterima tongkang	52
5.3.2. Perhitungan Cycle menurut diagram S – N	53

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	54
6.2. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 a	Pembebanan yang terjadi pada kapal saat trim	8
Gambar 2.1 b	Pendekatan dari beban sebenarnya	8
Gambar 2.2	Gaya geser yang terjadi akibat beban Q	10
Gambar 2.3	Balok dengan beban merata dan beban terpusat	10
Gambar 2.4	Arah dari bending momen	11
Gambar 2.5	Tegangan normal yang terjadi akibat momen	12
Gambar 2.6	Distribusi gaya apung keatas	15
Gambar 2.7	Penyebaran gaya berat gaya lintang dan momen lengkung pada air tenang	16
Gambar 2.8	Penyebaran gaya berat gaya lintang dan momen lengkung pada Sagging	16
Gambar 2.9	Penyebaran gaya berat gaya lintang dan momen lengkung pada Hogging	17
Gambar 4.1	Hasi output 1 program Nastran	43
Gambar 5.1	Hasil output 2 program Nastran	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Tabel kondisi I	36
Tabel 4.2.	Tabel Kondisi II	36
Tabel 4.3.	Tabel Kondisi III	37
Tabel 4.4	Tegangan Yield pelat SS 41	46
Tabel 4.5	Tegangan Ultimate pelat SS 41	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Adanya kerusakan yang terlalu dini pada suatu struktur / konstruksi adalah hal yang sangat merugikan dalam pengoperasian fungsi struktur tersebut. Kerusakan ini juga akan merugikan bagi pemilik dan pengoperasi struktur kapal tersebut karena akan dapat menambah biaya pemeliharaan dan perawatan.

Hal yang serupa juga akan berlaku di dalam industri perkapalan, terjadinya kegagalan struktur atau konstruksi adalah hal yang harus dihindari secara dini. Kerusakan/kegagalan struktur juga sering dijumpai di Industri ini yang berakibat melonjaknya biaya pemeliharaan dan perawatan kapal bahkan kerugian ini harus ditambah dengan kerugian akibat masuknya kapal ke dock sehingga mengakibatkan Income yang seharusnya didapat dari pengoperasiannya akhirnya hilang.

Hal yang sama dialami oleh kapal pengangkut semen dan batubara “ B.G Rahmat Jaya II “ produksi dari PT. Dok Dan Perkapalan Surabaya. Pada kapal yang dioperasikan oleh PT. Rahmat Jaya Sedati Gresik ini mengalami kegagalan struktur yang dini. Usia kapal yang baru beroperasi selama 1 tahun ini mengalami keretakan di Stanchion Bracket (Bracket Penguat) ambang palkah. Keretakan yang terjadi tepat pada Pelat Bracket, sambungan antara pelat geladak dan pelat ambang.

Meski kapal yang dioperasikan untuk mengangkut semen dan batubara ini telah mendapatkan klasifikasi dari Biro klasifikasi Indonesia (BKI) Dengan

adanya kerusakan dini ini sangatlah merugikan bagi pemilik kapal dan pengoperasi tongkang tersebut. Karena hal tersebutlah perlu dianalisa faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan struktur tersebut. Analisa ini untuk mengetahui pengaruh pengoperasian kapal terhadap terjadinya keretakan yang tidak diinginkan terjadi.

Suatu perencanaan pembuatan kapal telah diperhitungkan sedemikian hingga dalam pengoperasiannya harus sesuai dengan apa yang telah direncanakan, hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan / kegagalan struktur yang tidak diharapkan.

Dari penulisan ini diharapkan dapat memberi masukan kepada pemilik tongkang bahwa apa yang mereka lakukan bila tidak sesuai perencanaan pembuatan kapal akan terjadi kerusakan pada tongkang yang dioperasikannya.

1.1.1 Data Kapal Tongkang

Nama Tongkang	: BG "Rahmat Jaya II"
Pengoperasi	: PT. Rakhmat Jaya Sejati Gresik
Pelabuhan registrasi	: Surabaya
Klasifikasi	: Biro Klasifikasi Indonesia
Bendera	: Indonesia
Gross Tonnage	: 3345
Nett Tonnage	: 1003
L.O.A	: 95.00 M
Breadth	: 19.00 M
Depth	: 6.31 M
Draft	: 4.75 M

1.1.2 Evaluasi Keadaan Tongkang.

Kondisi secara umum tongkang dalam kondisi yang baik hanya saja kebersihan bekas semen curah perlu pembersihan yang lebih bersih. Pada Stanchion bracket ambang pakah kelihatannya kurang baik sehingga ditempat yang mengalami tegangan yang besar yaitu pada daerah tengah kapal, beberapa bracket mengalami retak yang dimulai dari toe of weld hingga di base metal.

Tongkang pengangkut semen ini dioperasikan di daerah perairan samarinda dengan kedalaman antara 20 – 200 M. Atau lebih tepatnya dari pelabuhan Tonasa (tempat Pabrik semen) ke pelabuhan di Samarinda

Dalam perencanaannya tongkang ini digunakan untuk memuat muatan dengan berat maksimum 6000 ton, dalam pengoperasiannya tongkang ini dimuati lebih dari berat maksimum dikarenakan sarat kapal belum tercapai. Dengan semen seberat 6000 ton kapal tersebut belum mencapai sarat yang direncanakan.

Karena dalam pelaksanaan bongkar muat dengan sistem curah maka distribusi muatan semen cenderung untuk tidak merata, dengan sistem curah ini muatan akan cenderung berada pada daerah ujung-ujung kapal.

1.1.3. Klasifikasi Tongkang B.G. “Rahmat Jaya II”

Telah dijelaskan diatas bahwa tongkang pengangkut semen ini telah mendapatkan klasifikasi dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Jika tongkang tersebut dianggap memenuhi syarat, maka kapal itu masuk dalam kelas berdasarkan keadaan teknisnya, dan dicatat dalam buku resgitrasi.

Tongkang telah diberi tanda kelas A 100 ①. hal ini berarti bahwa tongkang tersebut yang seluruh bagian – bagiannya memenuhi “peraturan untuk

Konstruksi kapal laut”. Angka 100 menunjukkan bahwa keadaan pemeliharaan dan kekuatan lambung seluruhnya sesuai dengan “peraturan untuk konstruksi kapal – kapal laut”.

Peralatan jangkar, mesin jangkar, rantai, dan tali yang digunakan dalam tongkang ini telah memenuhi peraturan yang ditetapkan oleh BKI.

1.2 Permasalahan

Masalah tugas akhir ini :

Mencari penyebab utama keretakan yang terjadi, dengan variasi distribusi muatan. Faktor distribusi muatan ini dianalisa untuk mengetahui berapa besar pengaruhnya terhadap keretakan yang terjadi di stanchion bracket ini. Dengan adanya distribusi yang diatur diharapkan akan mendekati keadaan pengoperasiannya sehingga dari situasi ini maka diharapkan dapat dianalisa secara tepat dan akurat.

Meskipun tongkang ini telah mendapatkan klasifikasi dari Biro Klasifikasi Indonesia tetapi apabila dalam pengoperasiannya tidak sesuai dengan perencanaan maka kerusakan akan sangat mungkin terjadi. Oleh karena itu analisa ini dilakukan untuk mengetahui penyebab keretakan yang terjadi, sehingga dapat dijadikan acuan untuk perbaikan yang akan dilakukan.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan - batasan dilakukan untuk menyederhanakan dan memperjelas permasalahan sehingga memudahkan dalam penganalisaan. Batasan - batasan tersebut antara lain :

- Tongkang yang dianalisa adalah tongkang B.G Rahmat Jaya II yang dibangun oleh PT. Dok dan Perkapalan Surabaya.
- Beban yang ditinjau adalah beban vertikal yaitu momen bending air tenang dan momen bending bergelombang yang disebabkan oleh gaya berat kapal dan berat muatan serta gaya apung keatas (Bouyancy) yang terjadi.
- Momen bending yang diperhitungkan yaitu pada muatan penuh dengan tiga macam kondisi pendistribusian muatan.
- Perhitungan momen bending dengan menggunakan perhitungan kekuatan memanjang.
- Muatan yang ditinjau dalam perhitungan kekuatan memanjang adalah muatan semen. Hal ini disesuaikan pada pengoperasiannya selama ini.

1.4. Metodologi

Metodologi dan model analysis yang diterapkan dalam tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pengumpulan data - data yang dibutuhkan, yang meliputi antara lain :
 - Gambar Construction Profile
 - Gambar penampang melintang
2. Penentuan beberapa kondisi distribusi penyebaran muatan yang diasumsikan mendekati kondisi pengoperasian tongkang sebenarnya.
3. Perhitungan kekuatan memanjang tongkang untuk beberapa kondisi yang telah ditetapkan.
4. Perhitungan mdulus konstruksi penampang melintang pada tengah kapal.

5. Menganalisa apakah perhitungan kekuatan memanjang kapal di beberapa kondisi yang ditentukan memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia
6. Menentukan besarnya tegangan disekitar ambang palkah di setiap kondisi distribusi muatan.
7. Menentukan model analysis untuk mengetahui tegangan lokal yang terjadi disekitar Bracket dengan menggunakan Software Nastran.
8. Perhitungan perambatan retak yang terjadi dan perkiraan umur komponen struktur sebelum mengalami kegagalan.

1.5 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan pada tugas akhir ini :

- a. Dapat mengetahui faktor penyebab utama terjadinya keretakan pada Stanchion Bracket kapal.
- b. Mengetahui sejauh mana pengaruh distribusi muatan terhadap kerusakan yang terjadi pada stanchion bracket ambang palkah.

1.6 Manfaat Penulisan

Analisa terhadap terjadinya keretakan pada Stanchion Bracket pada ambang palkah akibat pengaruh dari distribusi muatan pada tongkang pengangkut semen dapat memberikan manfaat :

- a. Menyimpulkan sebab – sebab yang mengakibatkan terjadinya keretakan pada stanchion brackets tersebut.

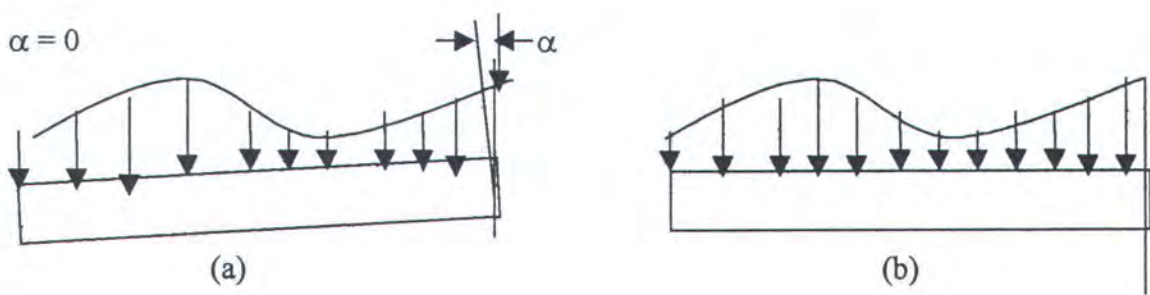
- b. Dapat memberikan masukan kepada pengoperasi kapal tentang pengoperasian yang mereka lakukan menyebabkan keretakan yang ditinjau..
- c. Memperkirakan perambatan retak yang terjadi dan waktu yang dibutuhkan terjadinya kegagalan komponen struktur.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Teori Balok Elastis

Sebagai pendekatan awal untuk menentukan besar dari gaya geser dan momen yang terjadi pada badan kapal diasumsikan bahwa badan kapal sebagai balok yang elastis. Sedangkan suatu konstruksi dapat disebut balok atau jika pada suatu konstruksi tersebut hanya menerima beban yang tegak lurus dengan garis sumbu konstruksi tersebut, atau beban yang terjadi adalah beban lateral saja. Untuk menyederhanakan permasalahan yang terjadi sesungguhnya dalam badan kapal maka gaya – gaya yang bekerja dalam kapal dianggap pada bidang yang sama artinya adalah, gaya berat badan kapal dan muatannya serta gaya bouyancy dianggap bekerja tegak lurus dengan sumbu badan kapal meskipun badan kapal tersebut mengalami trim. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat didalam gambar dibawah ini.



gambar 2.1

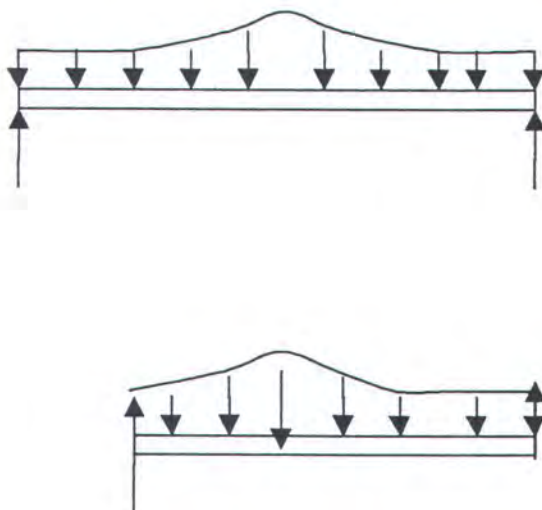
- pembebanan yang terjadi pada kapal saat trim.
- Pendekatan dari beban yang sesungguhnya.

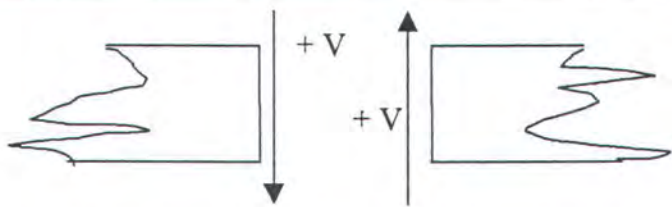
Dalam gambar tersebut digambarkan adanya gaya reaksi yang berupa gaya bouyancy. Untuk menentukan besar gaya reaksi ini kita selalu dapat menggunakan hukum kesetimbangan statik, yaitu besar distribusi gaya bouyancy selalu dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya ($\Sigma F = 0$) dan kesetimbangan momen ($\Sigma M = 0$).

2.1.1 Gaya geser dan Momen Lentur Pada Balok

a. Gaya Geser

Pada gambar dibawah memperlihatkan suatu balok yang mendapat beban merata sebesar Q , jika balok tersebut dipotong menjadi dua segmen maka untuk mempertahankan potongan balok dalam keadaan setimbang harus ada gaya geser sebesar " V " yang arahnya berlainan dengan arah pembebanan. Gaya sebesar " V " ini disebut gaya geser. Gaya geser ini secara numerik merupakan jumlah dari semua beban yang bekerja pada balok namun mempunyai arah yang berlawanan. Dibawah ini digambarkan gaya vertikal (gaya dalam) sebesar V yang terjadi akibat beban merata Q .





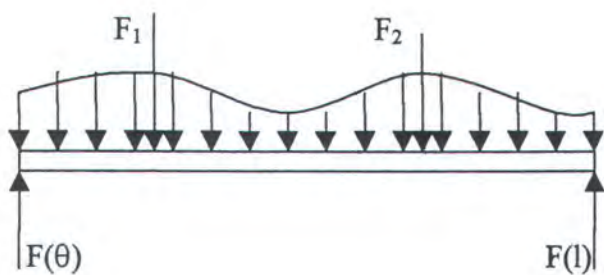
gambar 2.2. Gaya geser yang terjadi akibat beban Q

Besar dari gaya geser ini secara numerik mempunyai nilai yang sama meskipun dihitung dari sebelah kanan segmen atau sebelah kiri segmen. Gaya geser ini mempunyai arah dan besar. Untuk mengetahui besaran mana yang positif dan negatif dapat dilihat pada gambar diatas.

Besar dari gaya geser ini secara matematik dapat dihitung dengan cara integrasi dari beban merata yang bekerja pada balok tersebut. Jika besar beban merata yang bekerja adalah Q dan beban terpusat adalah F (θ) maka besar dari gaya geser dapat ditentukan dari persamaan dibawah ini.

$$F(a)= F(\theta) + \int_0^a Q(x) \, dx \dots\dots\dots(2.1.1)$$

Besar dari F(θ) ini dicari dari kondisi batas atau dari besar gaya terpusat yang telah diketahui.



Gambar 2.3 Balok dengan beban merata Q dan beban terpusat F1 dan F2

b. Momen Lengkung

setelah mengetahui besar dari gaya geser selanjutnya akan kita bicarakan besar dari momen lengkung yang terjadi akibat pembebanan baik beban merata maupun beban terpusat. Dalam menghitung momen ini kita harus memenuhi kesetimbangan statis yaitu beban besar momen perlawanan (internal resisting moment) harus sama dengan external momen. Besar dari momen ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$M(a) = M (\theta) + \int_0^a F(x) \, dx(2.1.2)$$

Dimana :

$M(\theta)$ = momen luar atau external moment.

$F(x)$ = Distribusi tegangan geser.

Beban momen ini akan mempunyai besar yang positif bila arahnya seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah.dan arah yang berlawanan akan mempunyai nilai yang negatif.



gambar 2.4. arah dari bending momen.

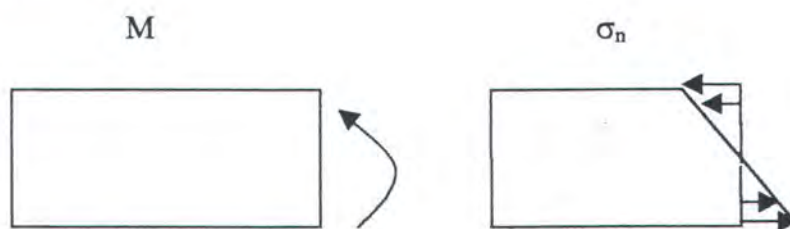
Dalam perhitungan integrasi untuk mendapatkan gaya geser dan momen tersebut diatas persamaan yang diambil berlaku untuk umum. Pada umumnya

beban yang terjadi pada badan kapal adalah sangat rumit artinya beban yang terjadi bukanlah hanya terdiri dari satu jenis beban saja tetapi berbagai jenis beban.

2.1.2. Tegangan Normal

Seperti diterangkan dalam analisa, badan kapal didekati dengan model balok elastis. Dalam perhitungan besar dari tegangan normal sangat erat kaitannya dengan perhitungan bending momen/momen lengkung, sedang distribusi tegangan geser tergantung dari gaya geser itu sendiri.

Tinjaulah sebuah segmen balok yang dikenai momen lengkung positif M seperti pada gambar (2.5.). pada irisa X-X momen terpakai ini mendapat perlawanan dari tegangan yang berubah secara linear terhadap sumbu netral. Tegangan maximum terjadi pada daerah garis e-d seperti yang ditunjukkan oleh gambar (2.5.). Tegangan inilah yang dinamakan tegangan normal. Besar tegangan normal ini akan mempunyai nilai positif (+) jika tegangan tersebut merupakan tegangan tarik, dan akan mempunyai nilai negatif (-) apabila tegangannya merupakan tegangan tekan.



Gambar 2.5. tegangan yang terjadi akibat momen positif.

normal yang positif untuk daerah y negatif. Dalam sebuah penampang akan mempunyai tegangan normal yang positif dan negati, hal ini disebabkan karena setiap penampang harus memenuhi hukum kesetimbangan statis yaitu $\Sigma F = 0$ dan $\Sigma M = 0$. Jadi besar dari tegangan normal negatif = tegangan normal positif dan momen luar M akan mendapatkan perlawanan yang sama besarnya dengan momen dalam yang dibentuk oleh tegangan normal pada suatu penampang tersebut.

Besar dari tegangan normal pada daerah yang berjarak y dari sumbu netral dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$\alpha_n = \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots(2.1.3)$$

dimana :

- α_n : tegangan normal.
- M : Momen lengkung/bending momen.
- Y : Jarak suatu titik terhadap sumbu netral.
- I : Momen inersia penampang dari suatu penampang.

2.2 Beban - beban pada struktur kapal

Beban yang bekerja pada kapal yang terapung dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok :

1. Beban Statis

Yaitu beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, bahan bakar kapal atau adanya perubahan pada kapalnya sendiri, yang meliputi :

- Berat kapal beserta seluruh isinya.
- Gaya tekan keatas statis saat diam atau bergerak.
- Beban – beban terpusat akibat dry docking dan kandas.

2. Beban – beban Dinamis

Yaitu beban yang berubah besarnya dalam waktu dengan periode merentang dari beberapa detik sampai beberapa menit. Oleh karena itu terjadi pada frekwensi – frekwensi yang cukup rendah yang bila dibandingkan dengan frekwensi – frekwensi respon getaran lambung dan bagiannya tidak menyebabkan pembesaran resonansi yang berarti pada tegangan – tegangan yang terjadi pada struktur kapal.

2.3. Beban statis Kapal diair Tenang

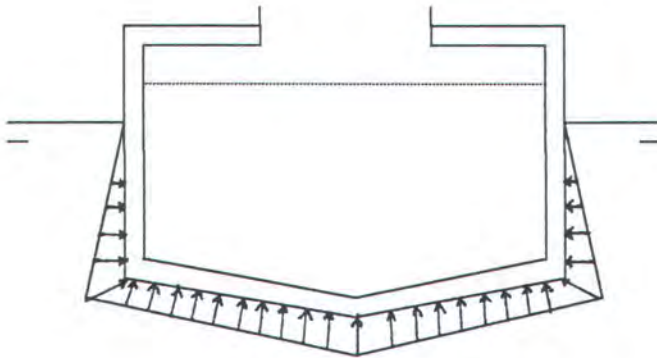
Beban – beban statis yang dialami oleh kapal diair tenang ini terdiri dari dua macam yaitu :

- Gaya tekan keatas (Bouyancy).
- Gaya berat Kapal (gravitasi).

Gaya tekan keatas (bouyancy) adalah resultan dari distribusi tekanan hidrostatik pada bidang luar lambung kapal yang tercelup. Tekanan ini adalah tekanan permukaan yang arahnya dimana-mana yang arahnya tegak lurus dengan permukaan bidang luar lambung yang tercelup. Namun demikian, gaya tekan keatas merupakan resultan gaya tekan yang tegak lurus terhadap permukaan air.

Gaya berat adalah gaya kebawah yang tersebar pada seluruh kapal beserta isinya.

Dilukiskan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.6. Distribusi gaya apung keatas

Tiap – tiap beban dapat mengakibatkan pengaruh – pengaruh yang bersifat lokal ataupun menyeluruh pada struktur kapal. Muatan merupakan beban lokal yang besar pada peletakkannya dikapal, dan pondasinya harus dirancang untuk menyebarkan beban - beban secara merata keseluruhan struktur lambung.

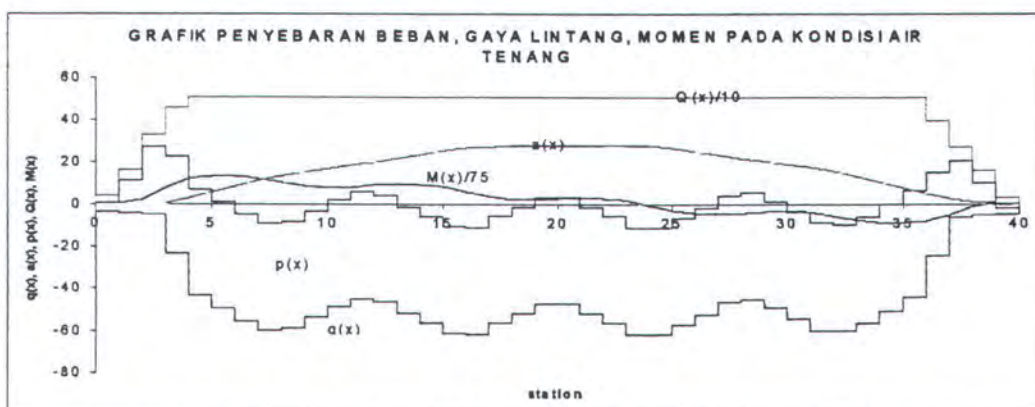
Bila sebagian muatan kapal terdiri dari cairan misalkan bahan bakar, maka akan timbul tekanan hidrostatik akibat cairan tersebut yang tegak lurus pada sisi tangki tempat penyimpanan muatan cair tersebut.

Beban - beban internal ini mungkin menimbulkan pengaruh - pengaruh struktural lokal dan harus dipertimbangkan dan diperhitungkan dalam perencanaan sekat melintang ataupun komponen - komponen pembatas tangki lainnya. Peletakan/distribusi muatan dan tegangan yang timbulkan diatur sedemikian hingga pada umumnya akan memudahkan apabila struktur dan respon akan dihitung kekuatan memanjangnya.

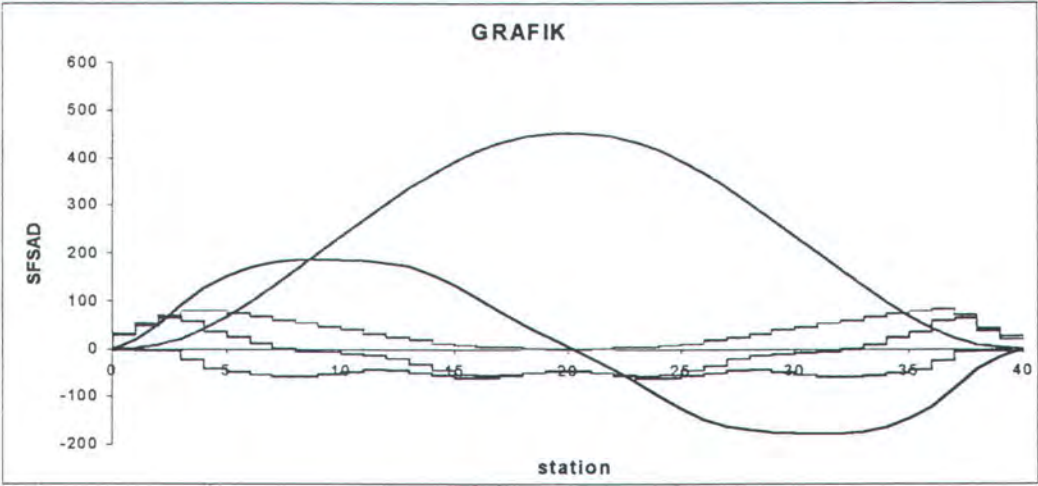
Dari gambaran diatas dapat diketahui kadang kadang dibutuhkan penyebaran - penyebaran setempat beban - beban yang bekerja dan dalam kasus - kasus lainnya, tergantung pada respon struktur yang akan dihitung.

Misalnya adalah beban persatuan panjang untuk lambung keseluruhan. Analisa respon primer dilakukan dengan cara menghipotesakan bahwa seluruh lambung kapal berperilaku seperti suatu balok yang bebannya berasal dari penyebaran berat kapal dan gaya apung keatas sepanjang kapal. Seperti pada perhitungan kekuatan untuk balok pada umumnya diperlukan mula - mula integrasi beban untuk memperoleh penyebaran memanjang dari gaya lintang (Shear) total, dan kemudian melakukan Integrasi untuk memperoleh pemyebaran memanjang momen lengkung sepanjang kapal.

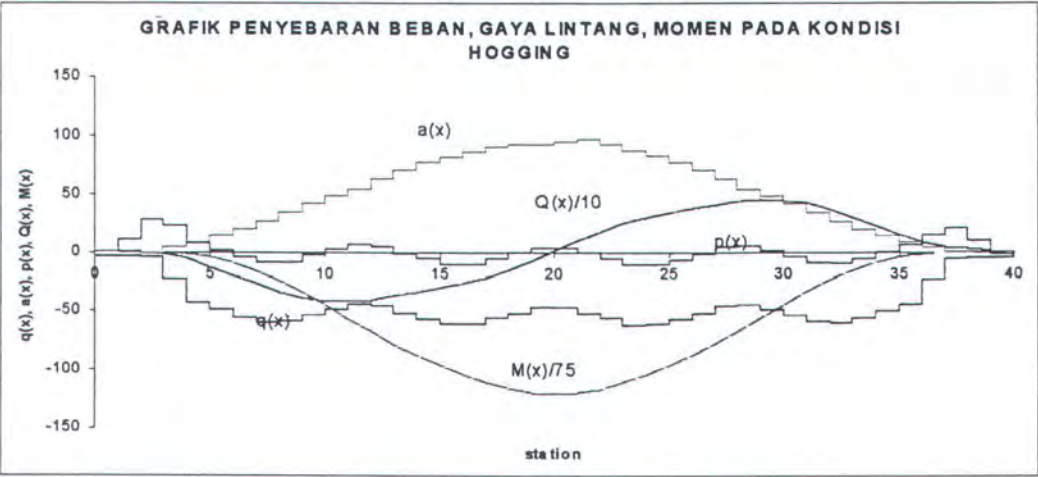
Beban - beban diair tenang sangat berpengaruh pada besarnya gaya lintang dan momen lengkung total yang bekerja pada hampir semua kapal. Kemudian pengaruh - pengaruh gelombang ditambahkan pada penyebaran gaya - gaya lintang dan momen lengkung tersebut. Gambar dibawah menunjukkan suatu penyebaran memanjang dari gaya berat dan gaya tekan keatas dari tongkang diair tenang, sagging dan hogging.



Gambar 2.6. Penyebaran gaya berat, gaya lintang dan momen lengkung pd air tenang.



Gambar 2.7. Penyebaran gaya berat,gaya lintang dan momen lengkung sagging.



Gambar 2.8. Penyebaran gaya berat,gaya lintang dan momen lengkung Hogging.

Seperti pada perhitungan kekuatan balok , gaya lintang pada titik x_1 maka $V(x_1)$ diperoleh dari mengintegrasikan kurva beban :

$$V(x_1) = \int_0^{x_1} (b(x_1) - w(x_1)) dx \dots\dots\dots 2.2.1$$

Dimana :

$b(x_1)$: adalah gaya tekan keatas persatuan panjang.[ton/m]

$w(x_1)$: berat persatuan panjang. [ton/m]

momen lengkung pada titik x_1 maka $M(x_1)$ diperoleh dengan mengintegrasikan kurva gaya lintang (V_x) :

$$M(x) = \int_0^{x_1} V(x_1) dx \dots\dots\dots 2.2.2$$

Dimana :

$V(x_1)$: gaya lintang . [ton.m]

Dari sini perlu dicatat bahwa pembebanan statis pada kapal harus dihitung untuk beberapa distribusi muatan dan komponen berat lainnya yang berbeda untuk memperoleh harga - harga gaya lintang (V) dan momen (M) yang ekstrem yang kemudian digabungkan pada pembebanan lain.

Harga - harga ekstrem ini menjadi pedoman perancangan komponen struktur kapal. Lebih jauh lagi harus disadari bahwa pembebanan statis ini akan berubah selama pelayaran hal ini disebabkan karena perbedaan muatan baik bahan bakar , ballast dan sebagainya.

2.4. Beban Akibat Gelombang.

Beban - beban akibat gelombang terutama adalah beban - beban dinamis berfrekwensi rendah atau beban - beban yang melibatkan gerak kapal dan gerak gelombang yang menghasilkan pembesaran tegangan dinamis yang dapat diabaikan. Setelah beban - beban ini diperlakukan sebagai beban yang quasi statis

, respon - respon struktur seperti tegangan dan lendutan dapat dihitung dengan memakai metode - metode analisa struktur.

Paling tidak terdapat prosedur yang berbeda kecanggihannya yang dapat dipakai untuk menaksir beban - beban ini. Serta gaya lintang dan momen lengkung yang ditimbulkannya. Metode - metode analisa struktur yang sering digunakan antara lain :

- Metode Pendekatan.
- Pengukuran langsung pada kapal.
- Pengukuran model kapal dilaboratorium hidrodinamika.
- Perhitungan langsung berdasar teori hidrodinamika.

Dalam penganalisaan di tugas akhir ini dipergunakan metode pendekatan seperti yang didapatkan di bangku kuliah.

Perhitungan momen lengkung , gaya lintang dan beban torsional akibat gelombang mensyaratkan pengetahuan atas distribusi gaya - gaya fluida yang berubah terhadap waktu yang bekerja pada permukaan basah lambung bersama - sama dengan distribusi beban reaksi inersial. Beban - beban fluida tersebut tergantung pada gerakan masa air akibat adanya gelombang dan gerakan kapalnya sendiri.

2.5. Analisa Respon Struktur Kapal

Reaksi - reaksi komponen - komponen struktural lambung kapal terhadap beban-beban eksternal lazim diukur dengan besarnya tegangan ataupun lendutan yang terjadi. Kemampuan suatu struktur untuk menyangga beban yang diterima dapat diukur dari segi kekuatan ataupun kekakuan atau kedua - duanya sekaligus.

Kekuatan komponen struktur dikatakan tidak memadai atau kegagalan struktur dikatakan telah terjadi apabila material struktur telah kehilangan kemampuan untuk menahan beban - beban yang dideritanya.

Adapun respon struktur kapal dikelompokkan menjadi tiga (3) yaitu antara lain :

1. Respon struktur Primer
2. Respon Struktur skunder
3. Respon struktur tersier

2.5.1. Respon Primer Pada Struktur Kapal

Respon primer adalah respon kapal pada keseluruhan dimana kapal diasumsikan sebagai balok yang mengalami berbagai beban di beberapa kondisi.

Dimana beban - beban ini terdistribusi secara memanjang kapal.

2.5.2. Respon Skunder pada Struktur Kapal.

Respon Struktur terdiri dari tegangan dan lendutan pada sebuah panel pelat berpenegar, misalnya panel struktur alat yang dibatasi oleh dua sekat melintang. Beban pada panel yang tegak lurus pada bidang panel tersebut dan batas dari panel skunder ini biasanya adalah panel - panel skunder lainnya.

2.5.3. Respon Tersier pada Struktur kapal.

Respon tersier merupakan lendutan diluar bidang dan tegangan - tegangan yang terkait pada sebuah panel pelat tunggal. Beban pada panel pelat ini

tegak lurus pada bidang panel dan batas - batasnya dibentuk oleh penegar – penegar panel struktur tempat panel pelat tunggal tersebut berada.

Untuk melakukan analisa atas respon struktur pada suatu bagian kapal, diperlukan tiga jenis informasi yang menyangkut komponen struktur tersebut. Ketiga informasi tersebut antara lain :

- a. ukuran, tata letak dan sifat - sifat mekanik bahan komponen tersebut.
- b. Kondisi batas komponen, yaitu derajat kekakuan sambungan komponen ke komponen yang bersebelahan.
- c. Beban - beban yang bekerja.

2.6. Teori Keretakan

Struktur selalu dirancang untuk dapat menahan suatu tingkat beban yang cukup tinggi yang dapat menimbulkan retak, terutama apabila telah terdapat suatu cacat dan konsentrasi tegangan. Kelemahan baja sebagai bahan dasar struktur adalah mengalami penggetasan. Material yang getas akan mengalami *brittle fracture* yaitu kegagalan struktur yang mendadak akibat mendapat beban yang berulang yang masih dibawah beban kerja yang diijinkan.

Beberapa faktor utamal yang mempengaruhi timbulnya brittle fracture adalah:

- a. Material Toughness (K_C, K_{IC}, K_{ID})

Merupakan kemampuan menahan beban dan berdeformasi secara plastis dalam keadaan retak, biasanya didefinisikan sebagai faktor intensitas tegangan kritis yang biasa ditulis dengan K_C untuk plane stress dan K_{IC} untuk plane

strain dan kondisi pembebanan secara perlahan atau perubahab kekakuan yang menimbulkan perubahan kondisi tegangan disekitas ujung retak.

b. Ukuran Retak (Diskontinuitas)

Ukuran diskontinuitas kemungkinan masih kecil sehingga masih dalam batas toleransi yang diijinkan, namun dapat berkembang menuju ukuran kritis akibat adanya beban fatigue.

c. Tegangan Yang Bekerja

Besarnya tegangan tarik yang bekerja pada suatu struktur, baik tegangan nominal maupun tegangan sisa sangat berpengaruh terhadap kemungkinan terjadinya brittle fracture.

Proses yang terjadi selama umur kelelahan (fatigue life) dapat dibagi menjadi lima fase :

1. Penggelinciran berulang
2. Retak inti
3. Pertumbuhan retak mikro
4. Pertumbuhan retak makro
5. Kegagalan aktif

Sedangkan dari permukaan suatu kepatahan yang diakibatkan oleh fatigue dapat dikarakteristikkan tiga tahapan retak, yaitu :

- Tahap I

Awal pembentukan retak dan penjarannya oleh bidang slip yang masuk dari permukaan material dengan sudut 45° terhadap sumbu tegangan. Tahap ini terjadi tidak lebih dari dua sampai lima partikel disekitar origin retak.

- Tahap II

Merupakan kelanjutan dari tahap sebelumnya dengan transisi yang berupa perubahan orientasi bidang kepatahan utama pada tiap-tiap partikel dari satu atau dua bidang geser menjadi sejumlah lapisan paralel yang dipisahkan oleh suatu puncak memanjang. Lapisan-lapisan ini biasanya mempunyai arah yang normal terhadap arah tegangan tarik maksimum.

- Tahap III

Terjadi pada siklus tegangan terakhir saat penampang material yang tersisa tidak mampu lagi untuk menahan tegangan yang bekerja. Kepatahan akhir ini dapat terjadi secara brittle atau ductile atau kombinasi keduanya.

2.6.1. Faktor Konsentrasi Tegangan

Setiap bentuk diskontinuitas pada struktur akan mengganggu bentuk aliran pembebanan sehingga mengakibatkan konsentrasi tegangan dan deviasi padagaris aliran pembebanan. Bila bentuk diskontinuitas atau celah tersebut tumpul, radiusnya pada arah aliran tegangan cukup besar sehingga memungkinkan pembelokan lebih awal dari garis aliran tegangan

Dengan demikian dapat didistribusikan melalui suatu jarak yang lebih besar sehingga peningkatan tegangan lokal tidak terlalu besar. Tegangan lokal tertinggi (σ_1) akan terjadi sebesar beberapa kali lipat dari tegangan nominal. Perbandingan antara tegangan lokal dan tegangan nominal disebut Faktor Konsentrasi Tegangan (K_t). sehingga tegangan nominal adalah :

$$\sigma_1 = K_t \cdot \sigma_{nom}$$

Faktor konsentrasi tegangan mempunyai makna tentang kondisi tegangan yang terjadi didaerah sekitar retak. Tegangan didaerah sekitar retak akan

mempunyai aliran tegangan yang tidak linear sehingga akan mengakibatkan terjadinya pengonsentrasian tegangan yang berakibat akan meningkatnya besarnya tegangan yang terjadi. Konsentrasi tegangan ini terjadi akibat berbagai faktor tetapi faktor utama yang mempengaruhi adalah faktor efek geometri.

Pendekatan yang diberikan oleh *Heywood* untuk memprediksi besarnya faktor konsentasi tegangan dirumuskan sebagai berikut :

$$K_t = 2 + \left(1 - \frac{d}{w}\right)^3$$

adapun yang mempengaruhi besar tidaknya nilai konsentrasi tegangan adalah geometri cacat las yang mungkin terjadi (d) dan geometri dari struktur lokal (W) yang ditinjau.

2.7. Teori Fatigue Life

Ketahanan lelah material adalah kekuatan/kemampuan material dalam menerima beban yang berulang-ulang. Tiap-tiap struktur mempunyai ketahanan lelah yang berbeda-beda. Perbedaan ini banyak yang disebabkan karena karakteristik struktur masing-masing.

Dari sini kita dapat menentukan fatigue life dari material yang kita pergunakan dengan menggunakan diagram $S - N$.

Dalam diagram dibawah yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya fatigue life yaitu Stress Amplitude (σ_a) dan Cycle (N).

II.7.1. Stress Amplitude (σ_a).

Jenis pembebanan dinamis dengan amplitudo tegangan dapat dihitung dengan tegangan yang terjadi pada suatu konstruksi. Pada kasus ini tegangan yang digunakan adalah tegangan normal akibat gelombang hogging dan sagging.

Stress Amplitudo ini merupakan nilai simpangan yang terjadi antara tegangan normal akibat gelombang hogging dan sagging, atau dalam formula dapat dituliskan :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

BAB III

ANALISA STRUKTUR

3.1 Pendahuluan

Untuk menyelesaikan masalah sangatlah dibutuhkan pemodelan masalah yang akan ditinjau, hal ini berguna untuk mendapatkan kondisi yang sebenarnya terjadi. Pada kasus yang ditinjau dalam tugas akhir ini dimana struktur yang mengalami kegagalan akan dapat dianalisa sehingga dapat ditentukan penyebabnya.

Pada kapal tongkang “ B.G. Rahmat jaya II” keretakan yang terjadi di daerah stanchion bracket dianalisa disekitar daerah stanchion bracket tersebut. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimum guna mendapatkan kesimpulan yang akurat.

3.2 Pemodelan

Pemodelan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi hasil analisa yang dilakukan, hal ini sangat perlu untuk diperhatikan. Karena banyak faktor – faktor yang mempengaruhi didalam memodelkan suatu struktur. Adapun faktor – faktor yang memengaruhi dalam pemodelan antara lain :

1. Kondisi batas
2. Pembebanan
3. Material property
4. Ukuran model

Agar hasil yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan maka diperlukan asumsi – asumsi yang dapat menyederhanakan masalah tersebut.

Letak bracket yang ditinjau dalam tugas akhir ini terdapat pada deck yang berfungsi sebagai penguat dari ambang palkah. Bracket penguat ambang palkah ini ada dua macam yaitu arah melintang dan arah memanjang tongkang. Bracket – bracket yang mengalami kerusakan adalah bracket yang terletak melintang didaerah tengah kapal.

Letak bracket tersebut berada pada station 18 dan 22 seperti yang terdapat pada gambar yang telah terlampir.

1. Kondisi Batas

Telah diketahui dalam analisa suatu struktur kondisi batas memegang peranan yang sangat penting, hal ini disebabkan karena dengan kondisi batas yang berbeda akan didapatkan hasil analisa yang berbeda pula. Oleh karena itu pemilihan Constraints / tumpuan sangatlah menentukan. Penentuan Constraints / tumpuan haruslah dilakukan di setiap titik yang ditinjau apakah itu Fixed (jepit) , free (ujung bebas), pinned (engsel), roll dsb.

Penentuan kondisi ujung elemen ini haruslah ditentukan sesuai dengan kondisi yang akan mendekati kondisi sebenarnya. Pemasangan tumpuan haruslah diperhitungkan dengan kondisi sesungguhnya.

Dalam pembuatan model yang dianalisa diberikan tumpuan yang digunakan ada 2 macam yaitu tumpuan jepit dan tumpuan bebas. Bracket yang melekat atau bersambungan dengan pelat ambang palkah dianggap jepit. Sedangkan bracket yang melekat pada pelat geladak dianggap jepit.

Ujung pelat geladak dianggap bebas sedangkan ujung lainnya dianggap jepit adalah ujung yang meyambung dengan pelat ambang palkah.

2. Pembebanan

Loading atau pembebanan juga harus disesuaikan dengan pemodelan yang dibuat, hal ini berguna untuk mendekati kondisi pembebanan yang sesungguhnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam pembebanan antara lain :

- a. Besar beban
- b. Arah beban
- c. Jenis beban

Ketiga faktor diatas perlu diperhatika karena selain kodisi batas pembebanan juga merupakan faktor yang sangat menentukan hasil analisa. Besar beban harus bisa mendefinisikan dari beban yang sebenarnya ke model yang dibuat demikian pula untuk arah beban dan jenisnya.

Beberapa model dapatlah dibuat untuk mendapatkan perbandingan hasil analisa ini sehingga dapat dimungkinkan mendapatkan hasil yang paling akurat. Karena data untuk pembebanan didapat dari perhitungan kekuatan memanang sehingga hasil yang didapatkan adalah ditribusi Gaya lintang dan ditribusi Momen bending.

Untuk mendapatkan gaya normal seperti yang terdapat pada pemodelan maka momen bending yang terdapat disetiap station perlu diubah menjadi tegangan normal dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_n = \frac{M Y}{I}3.32$$

dimana :

σ_n : Tegangan Normal [Kn]

M : Momen bending kapal di tiap station [Nm]

Y : Jarak Neutral axis station dengan pelat geladak [m].

I_{NA} : Momen inersia neutral axis [Nm].

Data yang didapat dari hasil perhitungan kekuatan memanjang pada ponton digolongkan menjadi tiga kelompok mengingat tinjauan kondisi yang telah dihitung. Adapun kelompok tersebut antara lain :

a. Kondisi I

Kondisi dimana distribusi muatan dari tongkang ini berdistribusi merata dengan jumlah 6000 Ton.

b. kondisi II

kondisi dimana distribusi muatan tongkang tidak merata dan sedikit lebih banyak di ujung – ujung tongkang, dengan berat 6000 Ton.

c. kondisi III

kondisi dimana distribusi muatan tongkang tidak merata dan banyak menumpuk diujung – ujung tongkang, dengan berat 6000 ton.

Dari peninjauan tiga kondisi tersebut maka didapatkan data – data yang dibutuhkan untuk menganalisa struktur yang ditinjau. Data yang dibutuhkan

antara lain : gaya lintang, momen bending dan tegangan normal serta momen inersia penampang di atas dek.

Dengan didapatkan harga dari tegangan normal maka disetiap kondisi kapal baik dalam keadaan sagging maupun hogging juga harus dicari tegangan normalnya, dengan mempunyai arah tegangan yang berbeda.

Perbedaan arah tegangan pada kondisi hogging dan sagging mempunyai arah yang berlawanan dimana pada kondisi sagging tegangan normal di pelat geladak adalah tegangan tekan sedangkan pada kondisi hogging tegangan normal di pelat geladak adalah tegangan tarik.

Pada analisa akan dipilih suatu nilai tegangan yang dianggap paling kritis diantara tegangan lainnya, hal ini dikarenakan pertimbangan kemungkinan terjadinya tegangan maksimum yang akan terjadi. Dengan memasukkan nilai tegangan tertinggi maka dapat diketahui akibat yang paling parah yang dapat diterima oleh struktur yang ditinjau.

3. Material Property

Dalam suatu pemodelan manual kadang kala masalah material property adalah hal yang dilupakan tetapi dengan memasukkan jenis material yang digunakan dengan berbagai spesifikasi yang dimiliki oleh material maka akan semakin akurat analisa yang dilakukan.

Beberapa spesifikasi yang dimiliki oleh material sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat. Spesifikasi tersebut antara lain :

- a. Young Modulus (E).
- b. Shear Modulus (G).

- c. Mass Density.
- d. Poisson Ratio (ν).
- e. Thickness

Dengan memasukkan spesifikasi material tersebut akan diharapkan model yang dibuat akan sama dengan spesifikasi material yang dipakai sesungguhnya.

Apabila hal ini diterapkan maka jenis material harus dipilih sesuai dengan jenis material yang digunakan sesungguhnya baik jenis maupun ketebalan material yang digunakan. Selain beberapa hal diatas seorang analisa harus dapat menentukan ukuran model yang ingin dibuat.

Jenis Pelat SS 41 adalah jenis yang sering digunakan dalam pembangunan suatu kapal sehingga dalam kassus ini dengan memasukkan jenis pelat yang digunakan sebenarnya nanti bisa didapatkan hasil yang optimum.

Meskipun terdapat jenis material yang sama yang perlu diingat adalah ketebalan setiap bagian. Ketebalan pelat disuatu struktur kapal mempunyai ketebalan yang berbeda - beda hal ini disesuaikan dengan pertimbangan kebutuhan kekuatan kapal dan ekonomis.

Dalam pembuatan model distruktur stanchion bracket terdapat tiga macam ketebalan pelat yang berbeda, ketebalan yang digunakan adalah 8 mm, 10 mm dan 11 mm. Masing – masing ketebalan adalah untuk Bracket , pelat geladak dan pelat ambang palkah.

4. Ukuran model

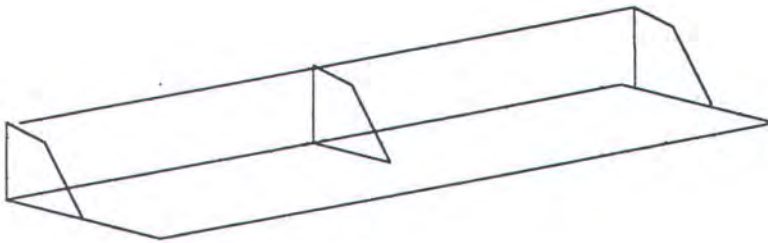
Didalam pembuatan model hal yang perlu diperhatikan adalah ukuran model yang akan diambil. Didalam pemodelan dengan menggunakan perhitungan manual tidaklah mungkin diambil ukuran yang sebenarnya karena ukuran yang sangat besar serta kemampuan perhitungan yang kurang akurat,tetapi dengan seiring kemajuan teknologi yang berkembang maka dapat dimungkinkan pemodelan dengan ukuran yang sebenarnya. Oleh karena itu ukuran model disesuaikan dengan skala dari ukuran yang sebenarnya.

Untuk konstruksi kapal pemodelan biasanya digunakan skala sehingga didapatkan model yang mirip dengan konstruksi kapal yang sebenarnya. Dalam tugas akhir ini model diambil adalah struktur disekitar Stanchion bracket dengan skala yang diambil adalah 1 : 1.

Dengan mengambil skala diatas tersebut dapat dimungkinkan hasil yang lebih akurat. Ukuran tersebut didapatkan dari gambar Construction profile dari tngkang “B.G Rahmat Jaya II “ dengan ukuran sebagai berikut :

- Tinggi Bracket : 900 mm
- Lebar Bracket
 - Atas : 150 mm
 - Bawah : 600 mm
- Tinggi ambang : 900 mm
- Lebar lubang palkah : 11040 mm
- Jarak tiap bracket : 2460 mm
- Lebar pelat geladak : 11040 mm
- Panjang pelat geladak : 600 mm

Dengan ukuran diatas maka dapat dibuat model dengan tepat menggunakan berbagai program analisa yang akan digunakan oleh penganalisa. Model diatas dapat dilihat pada gambar berikut.



3.3 Pemilihan Program Analisa Struktur

Berkembangnya teknologi maka jenis program/software yang ditawarkan begitu banyak. Hal ini seiring dengan kebutuhan akan analisa yang semakin hari semakin lebih kompleks dan sulit.

Hal ini yang membuat penulis ingin menggunakan salah satu program yang ditawarkan antara lain : SAP 90, FEMAP, NISA, MSC NASTRAN dan sebagainya.

Program program tersebut dalam perhitungannya menggunakan metode elemen hingga, termasuk yang digunakan dalam analisa ini.

3.3.1 MSC NASTRAN

Program MSC NASTRAN merupakan jenis software yang masih tergolong baru dan dapat dioperasikan dalam beberapa versi windows yang ada sekarang. Dengan menggunakan dasar perhitungan metode elemen hingga maka keakuratannya tidak disangsikan lagi.

Program MSC NASTRAN salah satu program yang sangat mudah dalam penggunaannya karena pengoperasiaanya under windows, hasil/out put yang didapatkan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan penganalisa.

Dalam program ini penganalisa dapat memasukkan ukuran dari model dengan ukuran yang sebenarnya hal ini karena program nastran dapat menganalisa dengan jumlah nodes dan elemen yang tidak terbatas.

Kelebihan dari program ini selain kemudahan penggunaannya program ini juga mengharuskan penganalisa memasukkan nilai dari matrial properti dan jenis material yang digunakan seperti yang dibutuhkan dalam menganalisa suatu model yang dijelaskan diatas.

Out put yang didapatkan dalam program analisa ini adalah deformasi yang terjadi dan menentukan tegangan di seluruh bagian dengan visualisasi contour.

BAB IV

ANALISA DATA HASIL PERHITUNGAN

4.1. Data Hasil Perhitungan

Dari data yang diperoleh pada perhitungan, dapat digunakan untuk menganalisa masalah yang timbul. Perhitungan yang dilakukan antara lain :

1. Perhitungan Kekuatan memanjang.
2. Perhitungan Modulus penampang melintang.
3. Perhitungan Tegangan normal yang terjadi pada deck.

Dari perhitungan perhitungan diatas diperoleh beberapa data yang dapat dijadikan acuan untuk menganalisa masalah keretakan di stanchion bracket pada tongkang "B.G. Rahmat Jaya II".

4.1.1. Perhitungan Kekuatan Memanjang.

Dari perhitungan kekuatan memanjang yang dilakukan terdapat tiga kondisi untuk mendapatkan nilai momen yang terjadi mendekati nilai sebenarnya pada saat dioperasikan.

Dari beberapa nilai besarnya momen lengkung yang terjadi maka akan diambil nilai momen yang paling ekstrem yang terjadi pada tongkang tersebut. Nilai ini yang akan dijadikan pedoman dalam pembahasan dalam penganalisaan tegangan yang terjadi didaerah yang akan ditinjau.

Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka didapatkan hasil perhitungan seperti yang terdapat pada beberapa tabel berikut :

Tabel data kondisi I

KONDISI	STATION	G. LINTANG	MOMEN	T. NORMAL
A. TENANG	18	53.1535	1840.794	737.684
	20	63.740	1843.021	738.577
	22	74.122	1919.293	769.142
SAGGING	18	403.101	21488.67	8611.426
	20	189.348	22057.03	8839.192
	22	-24.609	21633.68	8669.538
HOGGING	18	-200.425	-17882.243	-7166.176
	20	31.891	-18372.248	-7362.542
	22	264.003	-17729.05	-7104.785

Tabel data kondisi II

KONDISI	STATION	G. LINTANG	MOMEN	T. NORMAL
A. TENANG	18	5.59	-1500.64	-601.388
	20	63.74	-1614.273	-646.923
	22	121.685	-1422.150	-569.929
SAGGING	18	290.63	19682.706	7887.882
	20	117.228	20135.439	8069.316
	22	-56.379	19794.089	7932.519
HOGGING	18	-244.487	-21318.656	-8543.49
	20	35.781	-21925.874	-8786.84
	22	315.844	-21166.348	-8482.45

Tabel data kondisi III

KONDISI	STATION	G. LINTANG	MOMEN	T. NORMAL
A. TENANG	18	-4.220	-2623.545	-1051.39
	20	63.740	-2756.863	-1104.82
	22	131.496	-2545.046	-1019.93
SAGGING	18	280.819	18559.810	7437.862
	20	117.228	18992.848	7611.403
	22	-46.566	18671.193	7482.499
HOGGING	18	-254.289	-2241.552	-8993.47
	20	35.781	-23068.465	-9244.71
	22	325.356	-22289.244	-8932.44

*) Satuan dalam ton.m

Dari data yang didapatkan momen terbesar yang terjadi adalah sebesar 23.068,465 Ton m. Momen terbesar ini terjadi pada kondisi III, pada saat tongkang mengalami hogging.

Adapun Momen maksimum yang terjadi pada tongkang yang diperoleh dapat dijelaskan dibawah ini :

- Pada air tenang : 2.756,863 Ton.m.
- Pada Hogging : 23.068,465 Ton.m.
- Pada Sagging : 22.057,03 Ton.m.

4.1.2. Perhitungan Modulus Penampang Melintang Midship Section.

Perhitungan modulus penampang melintang ini berguna untuk dapat mengetahui **Momen Inersia Penampang Tengah Tongkang (I_{NA})** . data ini

juga diperlukan untuk mencari tegangan normal yang digunakan dalam menganalisa masalah.

Sehingga dari perhitungan Modulus penampang yang telah dilakukan didapatkan hasil momen Inersia penampang pada tongkang ini sebesar

$$I_{NA} : 10,72983 \quad m^4.$$

Data ini nantinya akan dipergunakan untuk mencari tegangan normal yang bekerja pada bagian tengah tongkang tersebut.

Adapun besarnya modulus penampang melintang pada dasar (W_{bottom}) yang terjadi :

$$W_{bottom} : 5,3643 \quad m^3.$$

Modulus penampang melintang ini dijadikan patokan bahwa tongkang yang ditinjau tersebut telah masuk kedalam klasifikasi yang dilakukan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Dan dapat dijadikan pedoman bahwa nilai pembebanan yang terjadi harus di bawah tegangan yang diijinkan oleh biro klasifikasi Indonesia tersebut. Hal ini disebabkan karena tongkang B.G. "rahmat Jaya II" ini telah mendapatkan klas.

4.2. Perhitungan Berdasarkan Rules BKI.

Berdasarkan tegangan yang diijinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) 1989 Vol. II maka :

a. Modulus penampang pada dasar (W_{bottom}).

Dari perhitungan didapatkan :

$$W_{bottom} : 5,3643 \quad m^3$$

$$M_{\max} \text{ Air tenang} : 2.756,863 \text{ Ton.m}$$

$$M_{\max} \text{ Hogging} : 23.068,465 \text{ Ton.m}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Tegangan dari perhitungan} &= M_{\max} AT / W_{\text{bot}} \\ &= 2.756,863 / 5,3643 \\ &= 513,9927 \text{ ton/m}^2 \\ &= 51,39927 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Tegangan dari perhitungan} &= M_{\max} HG / W_{\text{bot}} \\ &= 23068.465 / 5.3643 \\ &= 4300.368 \text{ Ton/m}^2 \\ &= 430.368 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iii. Sigma ijin dari BKI} &= 15\sqrt{L/k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{untuk } L < 100 \text{ m} \\ &= 15\sqrt{98/1} \quad [\text{N/mm}^2] \\ &= 148.492 \quad [\text{N/mm}^2] \\ &= 1514.20 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

apabila :

- (i) < (iii) maka tegangan masih memenuhi syarat
- (ii) < (iii) maka tegangan masih memenuhi syarat
- sehingga kapal masih mampu menerima beban bending.

b. Modulus penampang pada Deck (W_{deck}).

Dari perhitungan didapatkan :

$$W_{deck} : 2,4954 \quad m^3$$

$$M_{max} \text{ Air tenang} : 2.756,863 \quad \text{Ton.m}$$

$$M_{max} \text{ Hogging} : 23.068,465 \quad \text{Ton.m}$$

$$\begin{aligned} \text{i. Tegangan dari perhitungan} &= M_{max} AT / W_{deck} \\ &= 2.756,863 / 2,4954 \\ &= 1.104,777 \text{ Ton/m}^2 \\ &= 110,4777 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Tegangan dari perhitungan} &= M_{max} HG / W_{deck} \\ &= 23.068,465 / 2,4954 \\ &= 9.244,395 \quad \text{Ton/m}^2 \\ &= 924,4395 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{iii. Sigma ijin dari BKI} &= 15\sqrt{L/k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad \text{untuk } L < 100 \text{ m} \\ &= 15\sqrt{98/1} \quad [\text{N/mm}^2] \\ &= 148,492 \quad [\text{N/mm}^2] \\ &= 1.514,20 \quad \text{Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

apabila :

(i) < (iii) maka tegangan masih memenuhi syarat

(ii) < (iii) maka tegangan masih memenuhi syarat

sehingga kapal masih mampu menerima beban bending

Dari data – data perhitungan diatas maka dapat dilihat bahwa besar tegangan yang digunakan untuk menganalisa masalah keretakan yang terjadi pada Stanchion Bracket pada ambang palkah memenuhi ketentuan yang terdapat pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

4.3. Perhitungan Tegangan Normal (σ) yang terjadi pada Deck.

Dari perhitungan menurut yang diijinkan oleh BKI diatas maka dapat dihitung tegangan normal yang terjadi pada bagian Deck atau ditempat terjadinya keretakan.

Harga dari tegangan normal yang terjadi diakibatkan adanya gaya momen lengkung yang dialami oleh tongkang. Adapun besarnya gaya normal terbesar yang terjadi diakibatkan momen lengkung terbesar yaitu :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M_{\max} \times Y}{INA} \\ \sigma &= \frac{22.441552 \times 4,2997}{10,72983} \\ \sigma &= 8.993,471 \text{ Ton/m}^2 \\ \sigma &= 8818,92 \text{ N/cm}^2 \text{ (atau Pa)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat diperoleh nilai tegangan normal maksimum yang terjadi pada deck dibagian tengah kapal yaitu sebesar 8818,92 N/cm².

Dalam menghitung besarnya tegangan normal yang terjadi tergantung dari beberapa faktor yaitu antara lain : momen , jarak antara Neutral Axis dengan

deck , modulus penampang pada station yang ditinjau. Faktor – faktor tersebutlah yang mempengaruhi terjadinya keretakan.

Tegangan inilah yang nantinya akan dimasukkan kedalam program Nastran untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada daerah stanchion bracket disekitar ambang palkah. Hasil yang didapat akan dipakai untuk acuan menentukan terjadi atau tidaknya keretakan yang menjadi masalah dalam penulisan tugas akhir ini.

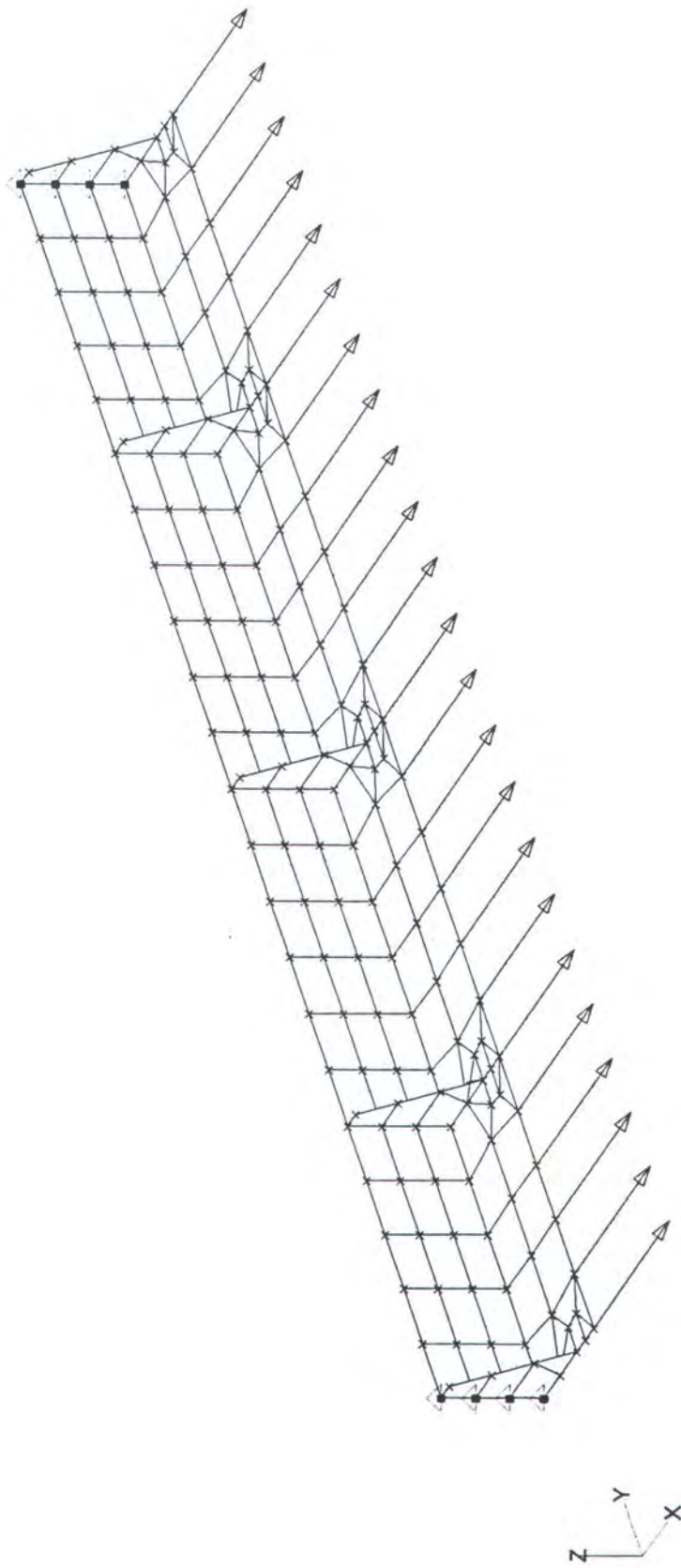
4.4. Program Analisa Struktur.

Setelah didapatkan beberapa data yang diperlukan untuk menganalisa seperti yang dijelaskan diatas, maka kita akan mulai menggunakan program Nastran untuk mendapatkan distribusi tegangan yang terjadi disekitar daerah palkah terutama didaerah Bracket.

Dengan berpedoman tegangan normal terbesar yang terjadi maka tegangan inilah yang dimasukkan kedalam program. Dalam program ini satuan yang digunakan dalam memasukkan nilai – nilai material properti, nilai beban yang dikenakan dan nilai dari tebal pelat menggunakan satuan CGS. Hal ini nantinya akan berpengaruh pada hasil yang didapatkan, apabila data yang dimasukkan dalam satuan sentimeter maka tegangan yang akan didapatkan satuan yang setara dengan satuan tersebut.

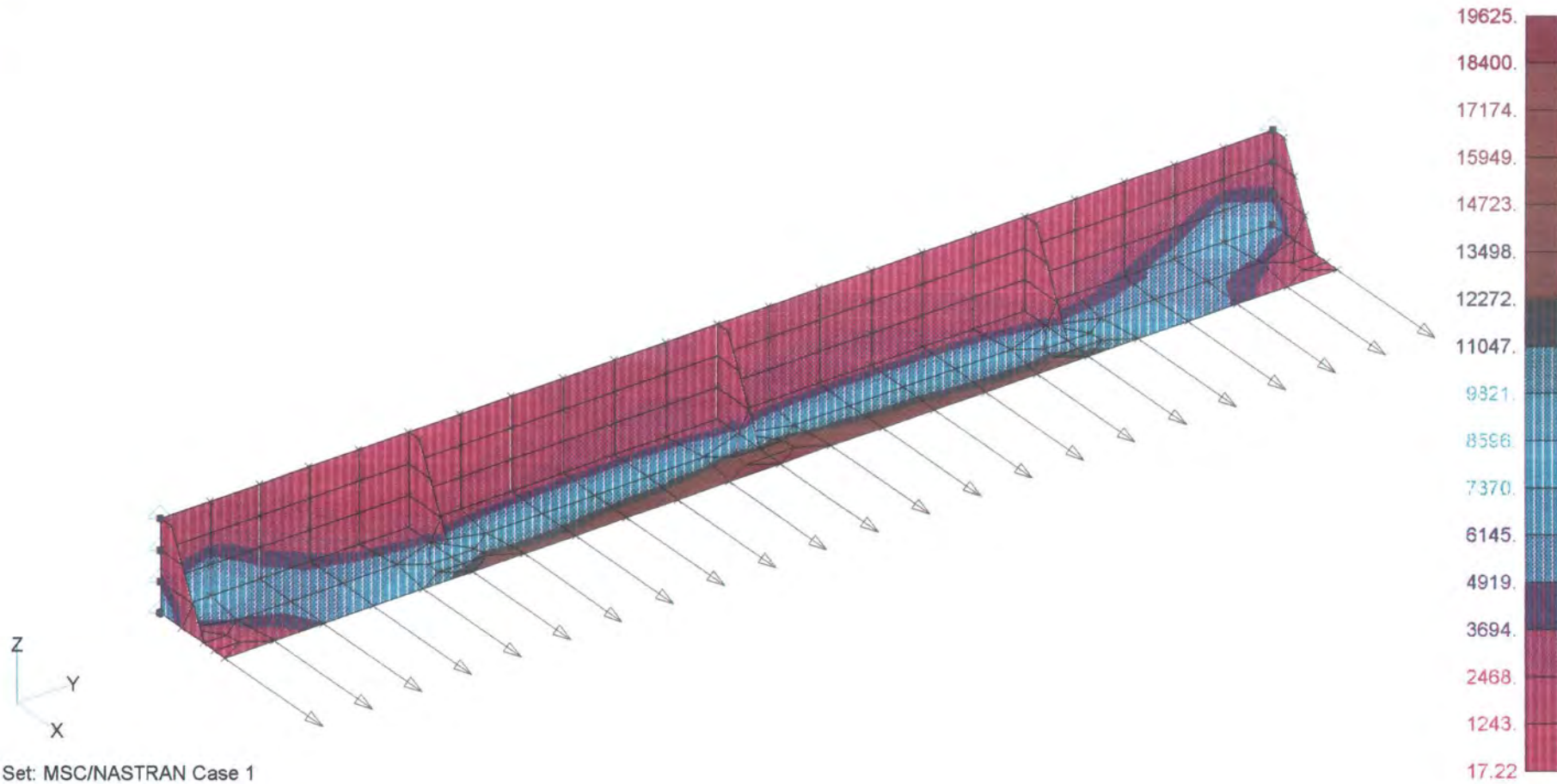
Setelah nilai - nilai yang dibutuhkan dalam program analisa struktur yang digunakan dalam hal ini Nastran maka hasil yang didapatkan dapat dilihat dalam gambar berikut.

V1
L1
C1



ANALISA TEGANGAN LOKAL

V1
L1
C1



Output Set: MSC/NASTRAN Case 1
Contour: Plate Top VonMises Stress

ANALISA TEGANGAN LOKAL

Output dari pemakaian program Nastran ini adalah tegangan yang ditimbulkan oleh adanya gaya normal. Jadi countour warna yang dihasilkan ini merupakan petunjuk tentang distribusi tegangan yang terjadi pada model yang telah dianalisa.

Dari gambar output program Nastran dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 19.625 N/cm^2 . Harga ini hanya berlaku pada daerah yang berwarna merah.

Sedangkan pada bracket - bracket yang ditinjau terdapat ada empat warna yang menandakan distribusi tegangan yang berbeda.

- Warna Biru = $9.821 \text{ s/d } 11.047 \text{ N/cm}^2$
- Warna Hijau = $11.047 \text{ s/d } 12.272 \text{ N/cm}^2$.
- Warna Hijau Terang = $12.272 \text{ s/d } 13.498 \text{ N/cm}^2$
- Warna Kuning = $13.498 \text{ s/d } 14.723 \text{ N/cm}^2$

dari data – data hasil pemrograman dengan menggunakan Program Nastran maka hasil ini dapat dijadikan acuan untuk meneliti apakah tegangan yang terjadi pada daerah disekitar ambang palkah dan bracket akan mengalami suatu kegagalan struktur sesuai dengan dugaan awal.

4.5. Material Jenis SS.41

Jenis pelat SS. 41 ini sering digunakan oleh banyak galangan dan dok yang ada di Indonesia dalam pembangunan struktur laut termasuk kapal dan

tongkang. Seringnya dipakai di Indonesia karena sifat - sifat material yang telah dikenal dan sangat banyak ada dipasaran di Indonesia.

Adapun material yang digunakan oleh P.T. Dok Dan Perkapalan Surabaya untuk membangun tongkang pengangkut semen B.G. Rahmat Jaya II menggunakan baja Stainless Steel 41.

Material SS.41 ini mempunyai beberapa karakteristik yang dibutuhkan untuk analisa keretakan yang terjadi pada Stanchion Bracket ambang palkah pada tongkang tersebut.

Beberapa karakteristik yang dibutuhkan dalam pemrograman telah dijelaskan pada bab sebelumnya sedangkan karakteristik yang dibutuhkan dalam analisa bab ini adalah Yield Point (Tegangan Yield) dan Ultimate Point (tegangan ultimate).

4.5.1. Yield Point (Tegangan Yield).

Pada tegangan yang tidak melebihi batas proporsional secara praktis hanya akan mengakibatkan deformasi elastis, yaitu peregangan akan hilang bila beban ditiadakan. Oleh karena suatu perancangan konstruksi perhitungannya tidak boleh melebihi batas proporsional tersebut.

Titik mulur (yield Point) adalah tegangan minimum dimana model terdeformasi dengan tanpa pertambahan beban yang berarti. Karena deformasi yang terjadi tidak hilang meskipun beban ditiadakan.

Adapun nilai titik mulur dari pelat jenis SS. 41 ada beberapa nilainya tergantung dari ketebalan dari pelat yang digunakan. Data yang

dipergunakan ini didapatkan dari Japanese Standart Asociation (JIS 63101) Tahun 1976.

Daftar tabel
Tegangan yield pelat SS.41

Tebal Pelat [inch]	Tegangan yield [Kgf/mm ²]	Tegangan yield [N/mm ²]
Kurang dari 16	25	245
16 – 40	24	235
Lebih dari 40	22	216

Karena tebal pelat yang digunakan dalam produksi tongkang terutama didaerah ambang palkah yang tebalnya antara lain : Pelat ambang 11 mm, Pelat geladak 10 mm dan Bracket adalah 8 mm. Oleh karena ketebalannya maka pelat tersebut menggunakan kategori yang pertama yaitu:

Tegangan Yield = 25 Kgf/mm²

Tegangan Yield = 245 N/mm²

Dari sini akan kita ketahui apabila tegangan yang terjadi di bracket ambang palkah melampui batas yang diijinkan yaitu sebesar 245 N/mm² maka tegangan tersebut akan melampaui kemampuan dari pelat ini yang akhirnya akan mengakibatkan deformasi.

4.5.2. Tegangan Ultimate (Ultimate Point)

Kenaikan lebih lanjut akan mengakibatkan deformasi yang besar pada model yang ditinjau. Beban maksimum demana model dapat bertahan tanpa patah disebut tegangan Ultimate.

Sampai tegangan maksimum deformasi yang terjadi adalah homogen sepanjang model. Setelah mencapai tegangan maksimum pada logam yang ulet akan terjadi pengurangan tebal pelat, sedangkan pada logam yang getas akan segera patah begitu mencapai tegangan maksimum.

Tegangan maksimum minimum yang dimiliki oleh jenis pelat SS.41 menurut Japanese Standart Asociation (JIS 63101) tahun 1976 adalah dalam tabel berikut :

Tabel tegangan Ultimate
Pelat SS.41

Tebal Pelat [inch]	Tegangan Ultimate [Kgf/mm ²]	Tegangan Ultimate [N/mm ²]
Kurang dari 16	41 – 52	402 – 510
16 – 40	41 – 52	402 – 510
Lebih dari 40	-	-

4.6. Analisa Tegangan Yang Terjadi.

Dari data karakteristik dari pelat jenis SS.41 yang telah didapat maka dapat dijadikan acuan untuk mendapatkan suatu kesimpulan mengenai terjadi atau tidak keretakan sesuai dengan asumsi awal.

Dari tegangan hasil program Nastran yang dijalankan terdapat beban yang bekerja pada bagian bracket adalah sebesar :

$$\sigma = 14.723 \quad \text{N/cm}^2$$

$$\sigma = 147,23 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 245 \quad \text{N/mm}^2$$

dari data diatas apabila tegangan (σ) yang terjadi melebihi dari tegangan yield (σ_{yield}) maka tidak akan terjadi keretakan pada bracket tersebut.

$$\sigma < \sigma_{\text{yield}} \longrightarrow \text{Tidak Terjadi keretakan.}$$

BAB V

ANALISA RETAK

5.1. Stress Amplitudo

Berdasarkan data hasil perhitungan kekuatan memanjang yang telah dilakukan didapatkan beberapa nilai tegangan untuk menentukan amplitudo tegangan yang terjadi pada bracket. Nilai yang didapatkan akan diambil nilai maksimum dan nilai minimum yang terjadi pada selama tongkang ini beroperasi.

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{mak}} : 8993,47 \quad \text{Ton/m}^2$$

$$: 899347 \quad \text{Kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{min}} : 7437,862 \quad \text{Ton/m}^2$$

$$: 7,43786 \quad \text{Kg/mm}^2$$

$$\sigma_a : \frac{\sigma_{\text{mak}} + \sigma_{\text{min}}}{2}$$

$$: 821566 \quad \text{Kg/mm}^2$$

dari hasil perhitungan Stress Amplitudo didapatkan hasil seperti yang tersebut diatas nilai ini kemudian dimasukkan kedalam grafik diagram S – N yang nantinya akan didapatkan jumlah Cycle tongkang akan mengalami keretakan.

5.2. Faktor Konsentrasi tegangan

Faktor konsentrasi tegangan atau Stress Consentration Factor adalah faktor yang dapat mengakibatkan nilai tegangan bertambah besar akibat geometri dan

bentuk struktur. Nilai inilah yang sering mengakibatkan besarnya tegangan yang terjadi daerah struktur yang mengalami konsentrasi tegangan.

Faktor konsentrasi tegangan ini perlu dimasukkan karena pada pengelasan bracket terjadi cacat yaitu Undercut. Cacat ini terjadi karena tidak sempurnanya pengelasan pada proses produksi. Ukuran cacat yang terjadi adalah 0,5 mm.

Untuk menghitung besarnya faktor konsentrasi tegangan dapat dengan menggunakan metode berikut :

$$K_t = \frac{\sigma_{mak}}{\sigma_{nom}}$$

Untuk mendapatkan harga tegangan maksimum maka dapat digunakan program Nastran dalam menganalisa besarnya tegangan maksimum pada bracket didaerah yang di tinjau.

Dengan telah mengetahui σ nominal yang diberikan maka akan didapatkan tegangan maksimum yang diperlukan untuk mengetahui harga konsentrasi tegangan.

- Hasil perhitungan program nastran ini adalah sebagai berikut

$$\sigma_{input} = 10 \text{ N/cm}^2$$

- dari gambar didapatkan harga out put adalah :

$$\sigma_{output} = 28.61 \text{ N/cm}^2$$

bentuk struktur. Nilai inilah yang sering mengakibatkan besarnya tegangan yang terjadi daerah struktur yang mengalami konsentrasi tegangan.

Faktor konsentrasi tegangan ini perlu dimasukkan karena pada pengelasan bracket terjadi cacat yaitu Undercut. Cacat ini terjadi karena tidak sempurnanya pengelasan pada proses produksi. Ukuran cacat yang terjadi adalah 0,5 mm.

Untuk menghitung besarnya faktor konsentrasi tegangan dapat dengan menggunakan metode berikut :

$$K_t = \frac{\sigma_{mak}}{\sigma_{nom}}$$

Untuk mendapatkan harga tegangan maksimum maka dapat digunakan program Nastran dalam menganalisa besarnya tegangan maksimum pada bracket didaerah yang di tinjau.

Dengan telah mengetahui σ nominal yang diberikan maka akan didapatkan tegangan maksimum yang diperlukan untuk mengetahui harga konsentrasi tegangan.

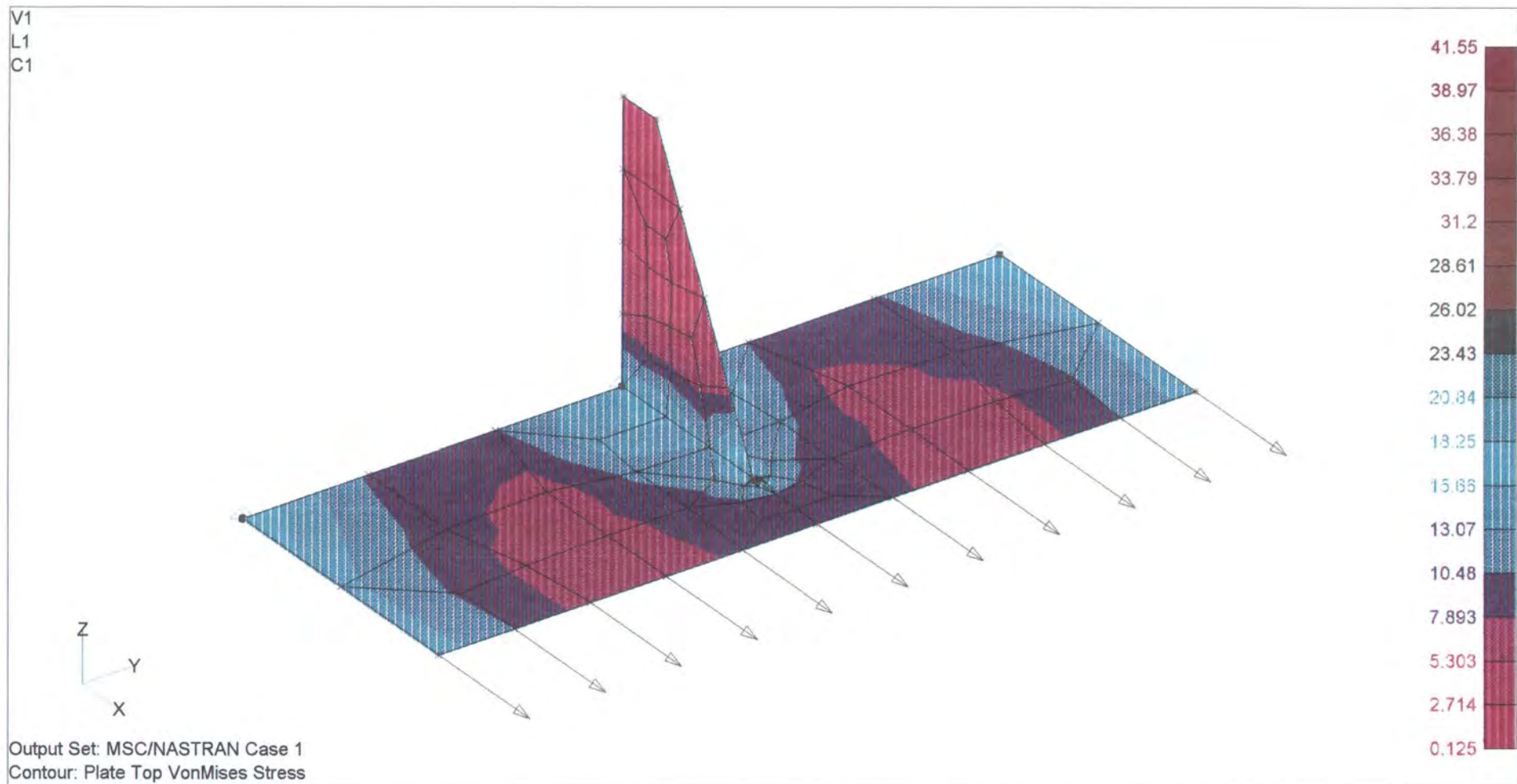
- Hasil perhitungan program nastran ini adalah sebagai berikut

$$\sigma_{input} = 10 \text{ N/cm}^2$$

- dari gambar didapatkan harga out put adalah :

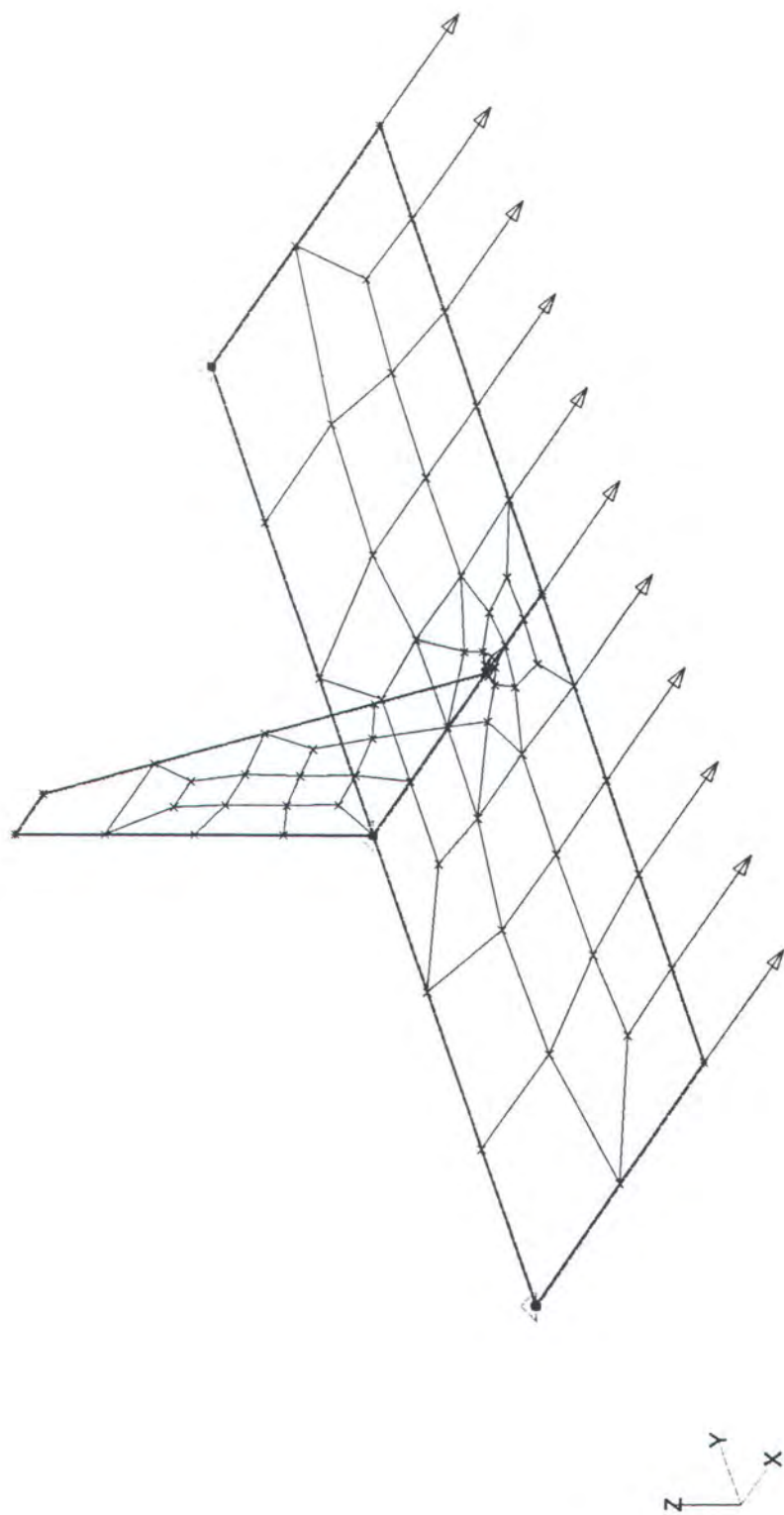
$$\sigma_{output} = 23.77 \text{ N/cm}^2$$

V1
L1
C1



ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN

V1
L1
C1



ANALISA FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN

Faktor konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung bracket dapat dihitung sebagai berikut :

$$K_t = \frac{\sigma_{mak}}{\sigma_{nom}}$$

$$K_t = 28.61 / 10$$

$$K_t = 2,861$$

Nilai inilah yang kemudian akan membuat nilai stress amplitudo akan bertambah besar.

Nilai stress amplitudo setelah mendapat pengaruh faktor konsentrasi tegangan :

$$\begin{aligned}\sigma_{amak} &= K_t \times \sigma_a \\ &= 2,861 \times 8,215 \\ &= 23,503 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

Nilai ini kemudian dimasukkan pada diagram S – N dari diagram ini kemudian akan didapatkan Cycle (N) minimum dari tongkang yang mengakibatkan tongkang akan mulai mengalami keretakan di daerah Stanhion Bracket ambang Palkah.

5.3. Perhitungan Fatigue Life

5.3.1 Cycle yang diterima tongkang

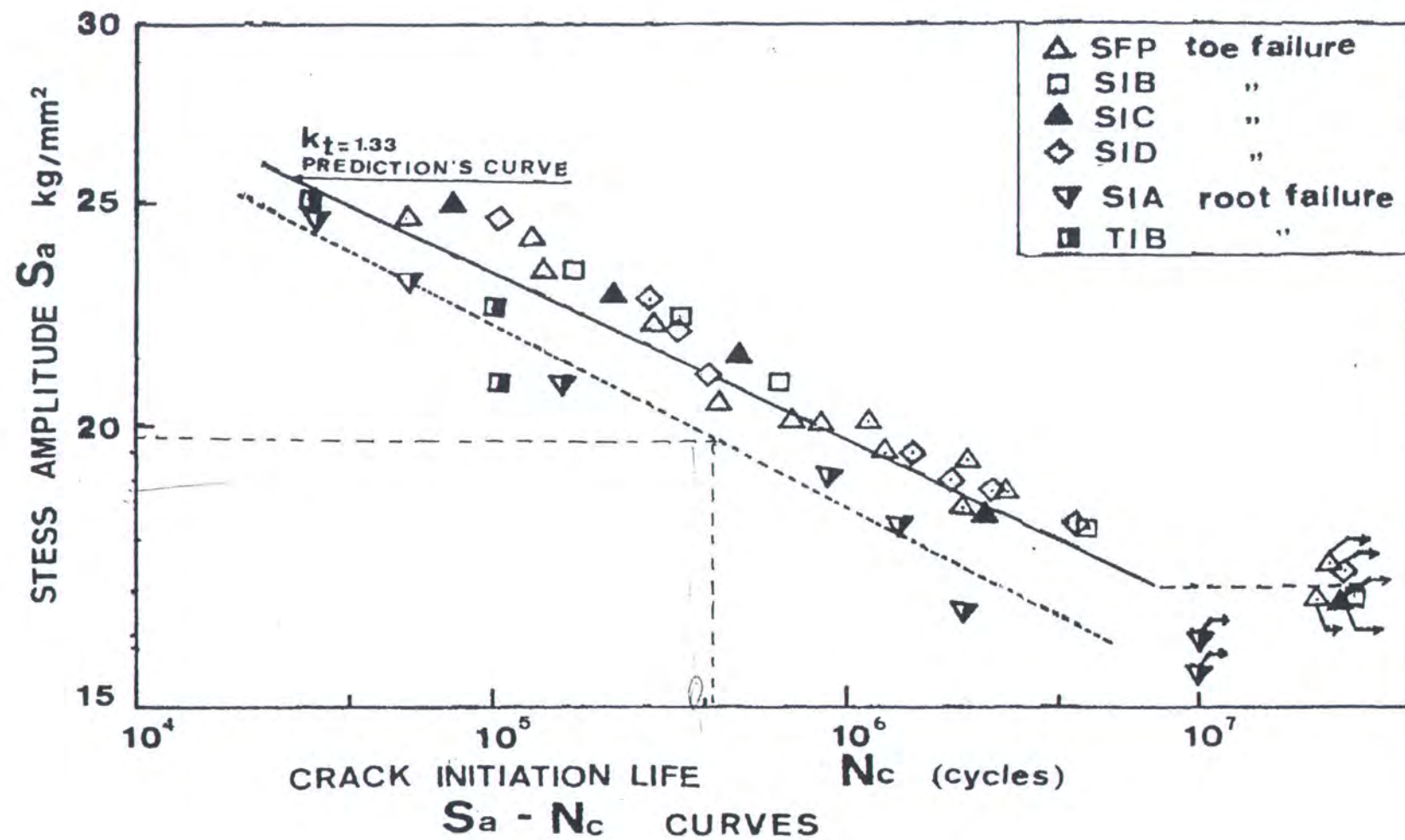
Dari data yang diperoleh tongkang telah berlayar selama 1 tahun, rute pelayaran yang ditempuh yaitu antara pelabuhan di Samarinda hingga sampai pelabuhan dimana tempat pabrik semen.

Data yang diperoleh selama satu tahun ini tongkang telah mengalami Cycle antara hogging dan sagging sebanyak 320.000.

5.3.2. Perhitungan Cycle Menurut Diagram S – N

Dari perhitungan stress Amplitudo akibat pengaruh dari faktor konsentrasi tegangan didapatkan nilai tegangan sebesar $23,503 \text{ Kg/mm}^2$ maka nilai ini kemudian dimasukkan kedalam diagram S – N maka akan didapatkan jumlah cycle sebesar 402.777,8 atau 402.778 cycle.

Nilai ini adalah nilai dimana cycle minimum yang sehingga material mengalami kegagalan (Failure) dan kemudian akhirnya patah.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari analisa yang telah dijabarkan pada bab terdapan maka dari perhitungan – perhitungan yang telah dilakukan maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan yang terjadi didaerah dek telah memenuhi ketentuan BKI.
2. Faktor distribusi muatan berpengaruh besar terhadap tegangan lokal yang terjadi pada daerah barcket
3. Akibat distribusi muatan tersebut mengakibatkan Tegangan lokal yang terjadi didaerah sekitar dari Stanchion Bracket bertambah, namun bukan merupakan penyebab kerusakan yang terjadi.
4. Keretakan yang terjadi karena terdapatnya Stress Concentration Factor yang mengakibatkan tegangan di bracket mengalami peningkatan.
5. Stress Concentration Factor ini dikarenakan adanya cacat las yang timbul dari proses produksi. Cacat tersebut berupa Undercut.
6. Adanya keretakan ini dibuktikan dengan hasil dari diagram S – N dimana harga yang diterima tongkang mendekati harga Cycle SS 41 mengalami kepatahan (failure).

4.2. Saran

Dari perhitungangan yang dilakukan adalah pendekatan – pendekatan yang kasar. Sebenarnya dapat dilakukan perhitungan - perhitungan yang lebih detil dalam menentukan Stress Concentration Factor, tapi semua itu membutuhkan waktu dan pikiran sehingga tidak mungkin dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini.



DAFTAR PUSTAKA

1. J. Schive., “ Lecture Notes on Fatigue Static Tensile Strength and Corrosion of Aircraft Materials and Structure “, Delf University of Technology, 1982.
2. “Deformation and Fracture Mechanic of Engineering Material”, John Willeys and Sons, 1976.
3. Soeweify, “ Studies On Bending Fatigue Strength of Cruciform Fillet Welded Joint”, University of Hirosima.
4. D.M. Rosyid, “ Kekuatan Struktur Laut vol I Kekuatan Kapal ”, FTK-ITS, 1994.
5. Himawan S.A., “ Analisa perhitungan kekuatan Fatigue Bracket antara Gading dengan Wrang”, FTK-ITS 1992.

LAMPIRAN

resume kondisi I air tenang

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σ_n
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	34.9894	30.8634875	72.03007055	-45.78616268	-18.348466
2	-38.022998	51.455	13.4320025	102.8782578	29.95261664	12.00328955
3	-72.767313	72.037	-0.7303125	100.2679758	139.0474216	55.72222561
4	-75.99098	84.07747	3.08649	118.4873888	266.5805137	106.8301688
5	-79.951155	85.82694	5.875785	131.4840132	430.9875499	172.7150725
6	-84.426393	85.82694	1.4005475	133.907888	613.6100496	245.8966883
7	-90.523918	85.82694	-4.8669775	121.92638	784.9425715	314.559929
8	-94.368443	85.82694	-8.5415025	100.8621416	917.2398054	367.5770669
9	-91.531068	85.82694	-5.7041275	86.50122173	1007.691095	403.824752
10	-86.440693	85.82694	-0.6137525	84.16831278	1078.420437	432.1690125
11	-82.418993	85.82694	3.4079475	91.33267008	1154.856927	462.8003704
12	-78.580188	85.82694	7.2467525	107.5682042	1258.936901	504.5096501
13	-80.017513	85.82694	5.8094275	120.408058	1397.362177	559.9825556
14	-85.623743	85.82694	0.2031975	120.0031934	1550.476284	621.3419014
15	-90.305643	85.82694	-4.4787025	108.5373401	1689.568106	677.08192
16	-94.948993	85.82694	-9.1220525	86.10157238	1788.813638	716.7736842
17	-95.124893	85.82694	-9.2979525	63.25024092	1834.163784	735.0275683
18	-89.726118	85.82694	-3.8691775	53.15351541	1840.794037	737.6845934
19	-85.396018	85.82694	0.4209225	53.28665114	1835.6548	735.6250822
20	-81.027368	85.82694	4.7995725	63.7407225	1843.021702	738.5773136
21	-81.049068	85.82694	4.7778725	74.14352761	1875.025789	751.4027146
22	-85.461118	85.82694	0.3658225	74.12286459	1919.293781	769.1427851
23	-89.834618	85.82694	-4.0076775	63.76980783	1951.307817	781.9721731
24	-95.276793	85.82694	-9.4488525	40.55961262	1943.675261	778.9134829
25	-95.144293	85.82694	-9.3173525	17.66244867	1881.578388	754.0286202
26	-90.544343	85.82694	-4.7174025	5.632666594	1778.224059	712.6101375
27	-85.905843	85.82694	-0.0789025	4.561340766	1659.394047	664.8898891
28	-80.343013	85.82694	5.4839275	16.63220081	1553.557234	622.5765694
29	-78.949088	85.82694	6.8778525	31.99620867	1480.127859	593.1502906
30	-82.831293	85.82694	2.9956475	38.18850722	1432.161872	573.9282758
31	-86.896393	85.82694	-1.0694525	34.77700702	1387.480702	556.0226275
32	-92.030168	85.82694	-6.2032275	19.23696337	1320.413021	529.1457505
33	-94.910943	85.82694	-9.0840025	-3.108911203	1208.592599	484.3345436
34	-91.109818	85.82694	-5.2828775	-16.47462797	1054.58786	422.6182836
35	-85.055693	85.82694	0.7712475	-15.53747442	885.9018603	355.0166252
36	-80.623855	85.82694	5.203085	-4.130104781	731.7978688	293.2625826
37	-76.70708	75.33012	-1.37696	-8.268091453	586.280816	234.9477001
38	-73.528813	58.6878	-13.8390125	-41.84767716	386.2088608	158.7781788
39	-38.825898	41.87855	2.8526525	-35.9922043	173.3886561	69.48422131
40	0	0	0	0	0	0

resume kondisi I untuk sagging

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σ_n
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	84.3862	80.2602875	192.4089565	-183.709001	-73.62002319
2	-38.022998	103.9391	85.9161025	350.529778	47.11779586	18.88210814
3	-72.767313	122.4629	49.6955875	471.1296288	607.1833868	243.3242507
4	-75.99098	127.09385	51.10287	594.6541865	1455.148438	583.1389721
5	-79.951155	122.4629	42.511745	697.8822113	2570.964977	1030.295196
6	-84.426393	117.83195	33.4055575	779.5968682	3905.245058	1564.998069
7	-90.523918	111.65735	21.1334325	832.3186298	5398.32816	2163.340077
8	-94.368443	104.9682	10.5997575	860.1545842	6986.570063	2799.81627
9	-91.531068	100.8518	9.3207325	884.9688421	8637.005029	3461.215874
10	-86.440693	95.7063	9.2858075	909.6528671	10345.90984	4146.046837
11	-82.418993	84.90075	2.4817575	918.3100465	12094.19895	4846.660765
12	-78.580188	75.1243	-3.4558875	912.9395396	13846.37045	5548.830529
13	-80.017513	67.9206	-12.0969125	887.1546111	15561.73956	6236.252021
14	-85.623743	60.20235	-25.4213925	829.8905987	17179.00715	6884.360037
15	-90.305643	53.770475	-36.5351675	746.3702927	18629.97325	7465.823967
16	-94.948993	48.110425	-46.8385675	638.5082043	19854.86889	7958.691836
17	-95.124893	43.2222	-51.9026925	518.6821206	20810.80788	8339.777315
18	-89.726118	39.62035	-50.1057675	403.1012722	21488.67244	8611.426519
19	-85.396018	37.304875	-48.0911425	292.2799754	21899.09945	8775.902111
20	-81.027368	36.275775	-44.7515925	189.3483654	22057.03085	8839.19195
21	-81.049068	36.275775	-44.7732925	86.36548917	21971.72576	8805.006566
22	-85.461118	37.304875	-48.1582425	-24.80906643	21633.68282	8669.538356
23	-89.834618	39.62035	-50.2142675	-140.4467861	21027.71787	8426.702387
24	-95.276793	43.2222	-52.0545925	-280.6317336	20142.95179	8072.138925
25	-95.144293	48.110425	-47.0338675	-368.9552182	18988.26012	7809.404781
26	-90.544343	53.770475	-36.7738675	-453.0394529	17606.28684	7055.589209
27	-85.905843	60.20235	-25.7034925	-510.9669266	16056.55868	6434.547113
28	-80.343013	67.9206	-12.4224125	-537.5238488	14407.03332	5773.51203
29	-78.949088	75.1243	-3.8247875	-543.765682	12718.76775	5066.952089
30	-82.831293	84.90075	2.0894575	-538.0827813	11032.20446	4421.074326
31	-86.896393	95.7063	8.8099075	-512.4753275	9382.603133	3760.008799
32	-92.030168	100.8518	8.8216325	-488.8401935	7788.807092	3121.306826
33	-94.910943	104.9682	10.0572575	-462.2858953	6254.297319	2506.363385
34	-91.109818	111.65735	20.5475325	-410.9483225	4811.797319	1928.292181
35	-85.055693	117.83195	32.7762575	-330.7203868	3524.709075	1412.501088
36	-80.623855	122.4629	41.839045	-229.0816157	2452.450879	982.8015479
37	-76.70708	116.2883	39.58122	-132.7769561	1614.01336	646.8039144
38	-73.528813	101.823825	28.0968125	-63.60420928	971.0460272	389.1395122
39	-38.825898	51.32	12.4941025	-31.29286481	447.9567775	179.5153649
40	0	0	0	0	0	0

resume kondisi I untuk Hogging

	$q(x)$	$a(x)$	$c(x)$	Q	M	σ_n
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	0	-4.1259125	-10.63236695	-49.51354525	-19.84218699
2	-38.022998	7.2037	-30.3192975	-84.32789597	-198.6394176	-79.6032772
3	-72.767313	21.353825	-51.4134875	-206.6771789	-579.3432004	-232.167502
4	-75.99098	36.790325	-39.200655	-300.173645	-1215.014774	-486.9081829
5	-79.951155	48.3677	-31.583455	-375.6744761	-2050.314405	-821.648331
6	-84.426393	54.02775	-30.3986425	-448.3761877	-3060.67829	-1226.544184
7	-90.523918	59.8878	-30.8361175	-522.1114339	-4244.020831	-1700.759954
8	-94.368443	65.805125	-28.7633175	-590.9496902	-5595.778322	-2242.468769
9	-91.531068	71.779725	-19.7513425	-638.4971555	-7085.016447	-2839.267931
10	-86.440693	80.78435	-5.6563425	-652.7451833	-8647.250498	-3465.32167
11	-82.418993	89.274425	6.8554325	-637.4341427	-10208.22886	-4090.872204
12	-78.580188	95.963575	17.3833875	-597.2508084	-11703.6545	-4690.152965
13	-80.017513	102.91	22.8924875	-544.0522254	-13088.77275	-5245.228857
14	-85.623743	109.59915	23.9754075	-488.2952438	-14345.18723	-5748.727668
15	-90.305643	115.77375	25.4681075	-429.0117565	-15465.71017	-6197.768945
16	-94.948993	121.4338	28.4848075	-367.3263195	-16443.33856	-6589.546291
17	-95.124893	126.5793	31.4544075	-293.9002005	-17261.36643	-6917.364907
18	-89.726118	129.6666	39.9404825	-200.4257292	-17682.24297	-7166.176569
19	-85.396018	131.7248	46.3287825	-91.85889923	-18264.45823	-7319.348525
20	-81.027368	133.783	52.7556325	31.89136387	-18372.24891	-7362.542846
21	-81.049068	133.783	52.7339325	155.5903607	-18187.74017	-7288.80233
22	-85.461118	131.7248	46.2636825	264.003392	-17729.04908	-7104.785272
23	-89.834618	129.6666	39.8319825	357.221532	-17032.18118	-6825.520615
24	-95.276793	126.06475	30.7879575	429.0731629	-16140.32461	-6468.115692
25	-95.144293	119.89015	24.7458575	486.6503325	-15095.58027	-6049.442125
26	-90.544343	114.74465	24.2003075	542.9386403	-13916.33233	-5576.867238
27	-85.905843	109.59915	23.6933075	598.0291606	-12805.51816	-5051.568154
28	-80.343013	102.91	22.5669875	650.4587499	-11167.69585	-4475.3715
29	-78.949088	95.963575	17.0144875	689.770558	-9621.504018	-3855.746562
30	-82.831293	84.128925	1.2976325	691.9512961	-8026.299116	-3216.479997
31	-86.896393	74.0952	-12.8011925	660.8235601	-6465.287856	-2590.916282
32	-92.030168	69.46425	-22.5659175	606.6266614	-5005.06632	-2005.743303
33	-94.910943	64.8333	-30.0776425	534.8833123	-3693.847951	-1480.282242
34	-91.106818	58.14415	-32.9656675	455.9170042	-2560.655366	-1026.163696
35	-85.055693	52.4841	-32.5715925	378.0816982	-1612.448437	-646.1767832
36	-80.623855	46.3095	-34.314355	296.1291158	-852.9909509	-341.8298137
37	-76.707078	36.0185	-40.68858	199.1174269	-304.9350104	-122.2004497
38	-73.526813	23.15475	-50.3720625	79.22851059	-13.09290687	-5.246886779
39	-28.825898	7.71825	-31.1076475	4.851774703	49.27288897	19.74574576
40	0	0	0	0	0	0

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σn
Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
1	-4.1259125	34.9894	30.8634875	74.35448737	-43.04044531	-17.2485
2	-43.190048	51.455	8.2649525	95.31993579	26.51578353	10.62625
3	-82.929645	72.037	-10.892645	71.02556014	92.13971709	36.92517
4	-85.809777	84.07747	-1.732307485	68.37248185	125.9319707	50.46748
5	-88.973876	85.82694	-3.146936164	62.37734331	149.5085181	59.91583
6	-92.200496	85.82694	-6.373556031	48.75931534	149.9170127	60.07953
7	-97.049403	85.82694	-11.2224634	23.68574371	104.6210551	41.92709
8	-99.645311	85.82694	-13.81637077	-7.520656083	-7.155622166	-2.66763
9	-95.559318	85.82694	-9.732378134	-29.07390428	-181.2548337	-72.6381
10	-89.220326	85.82694	-3.393385501	-35.65127938	-388.5829404	-155.725
11	-83.950008	85.82694	1.876932131	-29.77752907	-596.7424038	-239.146
12	-78.862585	85.82694	6.964354764	-11.88474279	-776.827646	-311.315
13	-79.051293	85.82694	6.775647396	5.562222328	-915.1678068	-366.755
14	-83.408905	85.82694	2.418035029	12.71432823	-1024.450315	-410.55
15	-86.842187	85.82694	-1.015247329	11.75530454	-1126.417245	-451.414
16	-90.23692	85.82694	-4.409979706	2.77622563	-1240.123558	-496.982
17	-89.164202	85.82694	-3.337262074	-3.868557872	-1372.049309	-549.851
18	-82.516809	85.82694	3.310130559	5.59112372	-1500.649962	-601.388
19	-76.938092	85.82694	8.888848191	28.03052572	-1591.806072	-637.919
20	-71.320824	85.82694	14.50611582	63.7407225	-1614.272969	-646.923
21	-71.342524	85.82694	14.48441582	99.39965303	-1552.435083	-622.141
22	-77.003192	85.82694	8.823746191	121.6852563	-1422.150216	-569.929
23	-82.825309	85.82694	3.201830559	130.8888086	-1254.905278	-502.906
24	-89.316102	85.82694	-3.489162074	123.8849594	-1085.061935	-434.841
25	-90.43222	85.82694	-4.805279706	114.4444842	-934.4069628	-374.465
26	-87.080887	85.82694	-1.253947339	112.9215318	-796.7025399	-319.28
27	-83.691005	85.82694	2.135935029	119.4071764	-653.1359369	-261.745
28	-79.376793	85.82694	6.450147396	136.0851478	-482.2073124	-193.246
29	-79.231485	85.82694	6.595454764	153.1064078	-271.4714709	-108.793
30	-84.362308	85.82694	1.464632311	158.0060994	-34.84150527	-13.9628
31	-89.676026	85.82694	-3.849085501	150.352133	198.5349732	79.56327
32	-96.058418	85.82694	-10.23147913	127.6197841	396.0175932	158.7048
33	-100.18781	85.82694	-14.36087077	95.13170504	528.2710826	211.7057
34	-97.635303	85.82694	-11.8083634	68.67394466	590.8948228	236.8022
35	-92.829796	85.82694	-7.002856031	53.56919544	604.4228485	242.2236
36	-89.646576	85.82694	-3.819636164	45.98480315	591.1493258	236.9042
37	-86.525877	75.33012	-11.19575749	20.97432423	539.3731115	216.1548
38	-83.889145	59.6878	-24.001345	-34.28935517	392.7730477	157.4046
39	-43.992948	41.67855	-2.3143975	-38.31762112	176.1343735	70.58619
40	0	0	0	0	0	0

Resume kondisi 2 sagging

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σn
Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
1	-4.1259125	84.3662	60.2602875	191.1273648	-23.24578782	-9.31579
2	-43.190048	103.9391	60.7490525	336.159437	350.5967593	140.5023
3	-82.929645	122.4629	39.53325501	431.0691875	1007.870584	403.9061
4	-85.809777	127.09385	41.28407252	530.1152445	1894.254707	759.1262
5	-88.973876	122.4629	33.48902384	610.7454989	2992.881473	1199.403
6	-92.200496	117.83195	25.63145397	672.8122445	4260.06907	1707.231
7	-97.049403	111.85735	14.6079466	708.8359539	5643.126016	2261.494
8	-99.645311	104.9682	5.322889234	722.9237154	7085.377138	2839.479
9	-95.559318	100.8518	5.292481866	736.9396394	8560.825739	3430.767
10	-89.220326	95.7063	6.485974499	753.7751897	10072.71784	4036.661
11	-83.950008	84.90075	0.950742131	757.5337536	11608.93634	4652.304
12	-78.862585	75.1243	-3.738285236	750.2144904	13140.94897	5266.261
13	-79.051293	67.9206	-11.1306926	725.4306647	14635.03982	5865.02
14	-83.408905	60.20235	-23.20655497	672.1176142	16036.87874	6426.81
15	-86.842187	53.770475	-33.07171234	595.4981294	17285.23485	6927.091
16	-90.23692	48.110425	-42.12649471	497.4867213	18327.30822	7344.704
17	-89.164202	43.2222	-45.94200207	390.461177	19127.18168	7665.255
18	-82.516809	39.62035	-42.89645944	290.6307272	19682.70651	7887.882
19	-76.938092	37.304875	-39.63321681	198.5096881	20011.48864	8019.643
20	-71.320824	36.275775	-35.04504918	117.228195	20135.43902	8069.316
21	-71.342524	36.275775	-35.06674918	35.89543568	20067.30132	8042.01
22	-77.003192	37.304875	-39.69831681	-56.37940217	19794.08965	7932.519
23	-82.825309	39.62035	-43.00495944	-156.4661832	19293.65082	7731.968
24	-89.316102	43.2222	-46.09390207	-263.8505913	18548.13664	7433.201
25	-90.43222	48.110425	-42.32179471	-362.3233957	17559.45363	7036.985
26	-87.080887	53.770475	-33.31041234	-439.5068092	16363.27671	6557.615
27	-83.691005	60.20235	-23.48865497	-493.486321	15012.16359	6016.153
28	-79.376793	67.9206	-11.4561926	-519.0391404	13567.1029	5437.043
29	-79.231485	75.1243	-4.107185236	-527.2299299	12082.18257	4841.958
30	-84.362308	84.90075	0.538442131	-524.4464247	10596.87667	4244.314
31	-89.676026	95.7063	6.030274499	-508.6864656	9121.474041	3655.448
32	-96.058418	100.8518	4.793381866	-495.8496654	7685.850748	3080.119
33	-100.18781	104.9682	4.780389234	-483.0435602	6280.518138	2515.93
34	-97.635303	111.85735	14.0220466	-448.4040395	4931.230673	1976.2
35	-92.829796	117.83195	25.00215397	-387.8240151	3694.421296	1480.546
36	-89.646576	122.4629	32.81632384	-308.7830145	2622.539255	1050.988
37	-86.525877	116.2883	29.76242252	-236.9568557	1728.869046	692.8476
38	-83.889145	101.623625	17.93448001	-193.074211	971.8798811	389.4827
39	-43.992948	81.041625	37.0486775	-104.0342748	371.9054747	149.0418
40	0	0	0	0	0	0

tesume kondisi 2 hogging

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σn
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	0	-4.1259125	-8.113470234	-55.94969239	-22.4219
2	-43.190048	7.2037	-35.9863475	-91.49721816	-219.9804737	-88.1576
3	-82.929645	21.353825	-61.57582	-235.3360948	-652.4179804	-261.458
4	-85.809777	36.790325	-49.01945249	-349.5105533	-1389.633739	-556.898
5	-88.973876	48.2677	-40.60617616	-443.8086464	-2373.1077	-951.027
6	-92.200496	54.02775	-38.17274603	-532.3577609	-3572.569924	-1431.71
7	-97.049403	59.8878	-37.3818034	-618.9905509	-4978.965773	-1995.33
8	-99.645311	65.605125	-34.04018577	-697.7764917	-6580.762497	-2637.25
9	-95.559318	71.779725	-23.77959313	-752.3217824	-8340.056739	-3342.29
10	-89.220326	80.78435	-8.435975501	-770.6177765	-10185.39475	-4081.82
11	-83.950008	89.274425	5.324417131	-756.404843	-12035.55587	-4823.27
12	-78.862585	95.963575	17.10098976	-714.3697566	-13819.27403	-5538.1
13	-79.051293	102.91	23.8587074	-656.3695623	-15484.8255	-6205.57
14	-83.408905	109.59915	26.19024503	-592.8611104	-17006.84489	-6815.53
15	-86.842187	115.77375	28.93156266	-522.8762956	-18371.17536	-7362.28
16	-90.23692	121.4338	31.19688029	-447.5396678	-19583.84487	-7840.25
17	-89.164202	126.5793	37.41509793	-357.5125009	-20561.1784	-8239.93
18	-82.518609	129.6666	47.14979056	-244.4871227	-21318.65611	-8543.49
19	-76.938092	131.7248	54.78670819	-113.4195266	-21787.79899	-8731.5
20	-71.320824	133.783	62.46217582	35.78136187	-21925.87473	-8786.84
21	-71.342524	133.783	62.44047582	184.9309841	-21711.52393	-8700.93
22	-77.003192	131.7248	54.72160819	315.8447815	-21166.34821	-8482.45
23	-82.625309	129.6666	47.04129056	428.6138284	-20333.32214	-8148.62
24	-89.318102	126.06475	36.74864793	517.0665072	-19262.66289	-7719.53
25	-90.43222	119.89015	29.45793029	588.2948656	-18003.26043	-7214.84
26	-87.080887	114.74465	27.66376266	655.2845029	-16580.64795	-6644.73
27	-83.891005	109.59915	25.90814503	718.1264936	-15004.67187	-6013.15
28	-79.376793	102.91	23.5332074	775.3576941	-13286.85933	-5324.73
29	-79.231485	95.963575	16.73208976	816.5212542	-11452.81798	-4589.74
30	-84.362308	84.128925	-0.233382869	817.6038853	-9568.873312	-3834.74
31	-89.676026	74.0952	-15.5808255	782.4281831	-7725.201087	-3095.89
32	-96.058418	69.46425	-26.59416813	721.2334589	-5995.366429	-2402.65
33	-100.18781	64.8333	-35.35451077	639.3424252	-4434.551821	-1777.18
34	-97.635303	58.14415	-39.4911534	547.6785734	-3078.748922	-1233.81
35	-92.829796	52.4841	-40.34569603	453.9958846	-1941.886648	-778.215
36	-89.648576	46.3095	-43.33707616	353.2460202	-1034.697827	-414.657
37	-86.525877	36.0185	-50.50737749	235.5563389	-385.5406963	-154.506
38	-83.689145	23.15475	-60.534395	94.17762878	-42.40786644	-16.995
39	-43.992948	7.71825	-26.2746975	10.11285398	34.41984691	13.79282
40	0	0	0	0	0	0

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σ_n
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	34.9894	39.8634875	78.30257502	-40.73929678	-16.3293
2	-43.190048	51.455	8.2649525	99.21611109	35.72049767	14.31502
3	-83.101413	72.037	-11.0644125	76.46402236	112.3709718	45.03278
4	-86.32508	84.07747	-2.24761	74.54162953	159.8747146	64.06995
5	-90.285255	85.82694	-4.458315	67.39044614	196.667383	78.81465
6	-94.760493	85.82694	-8.9335525	49.67851416	204.0604963	81.78947
7	-100.85802	85.82694	-15.0310775	17.55517936	152.6386132	61.17008
8	-104.70254	85.82694	-18.8756025	-23.65084575	14.5684238	5.637569
9	-101.86517	85.82694	-16.0382275	-58.15357242	-212.9367287	-85.3346
10	-96.774793	85.82694	-10.9478525	-80.83028816	-507.7468475	-203.48
11	-92.753093	85.82694	-6.9261525	-93.60573764	-844.4348365	-336.408
12	-88.914288	85.82694	-3.0873475	-97.51201031	-1201.06438	-481.328
13	-80.017513	85.82694	5.8094275	-80.39965205	-1542.094194	-617.996
14	-75.289643	85.82694	10.5372975	-52.11770091	-1829.502001	-733.175
15	-79.971543	85.82694	5.8553975	-34.89673852	-2063.159491	-826.813
16	-84.614893	85.82694	1.2120475	-28.6456905	-2269.090669	-909.34
17	-84.790793	85.82694	1.0361475	-22.81020623	-2460.744631	-986.146
18	-79.392018	85.82694	6.4349225	-4.220116031	-2623.545882	-1051.39
19	-75.061918	85.82694	10.7650225	24.59983542	-2730.344022	-1094.19
20	-70.693268	85.82694	15.1336725	63.7407225	-2756.863422	-1104.82
21	-70.714968	85.82694	15.1119725	102.8303433	-2690.973034	-1078.41
22	-75.127018	85.82694	10.6999225	131.496496	-2545.048138	-1019.93
23	-79.500518	85.82694	6.3264225	149.830255	-2343.600597	-939.2
24	-84.942693	85.82694	0.8842475	155.3068755	-2114.029045	-847.199
25	-84.810193	85.82694	1.0167475	161.0665273	-1871.149209	-749.865
26	-80.210243	85.82694	5.8166975	177.735809	-1601.754228	-641.905
27	-75.571743	85.82694	10.2551975	205.3690508	-1260.062325	-512.986
28	-80.343013	85.82694	5.4839275	221.7124153	-906.4440262	-363.258
29	-89.283188	85.82694	-3.4562475	216.9348184	-519.1639035	-208.055
30	-93.165393	85.82694	-7.3384525	202.9851082	-154.0054124	-61.7178
31	-97.230493	85.82694	-11.4035525	179.4318012	166.8528782	66.86646
32	-102.36427	85.82694	-16.5373275	143.7499508	417.7396392	167.4096
33	-105.24504	85.82694	-19.4181025	101.2622694	576.2886407	230.9482
34	-101.44392	85.82694	-15.6169775	67.75474584	645.0683064	258.5118
35	-95.389793	85.82694	-9.5628525	48.55009261	651.5817133	261.122
36	-90.957955	85.82694	-5.131015	39.81565547	625.0920697	250.5063
37	-87.04113	75.33012	-11.71106	15.53586202	559.6043662	224.262
38	-83.860613	59.86878	-24.1731125	-38.18553047	401.9777619	161.093
39	-43.992948	41.67855	-2.3143975	-40.26570877	178.435552	71.50622
40	0	0	0	0	0	0

Resume kondisi 2 sagging

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	σ_n
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	84.3862	80.2602875	193.0754525	-20.94460928	-8.39357
2	-43.190048	103.9391	60.7490525	340.0556123	359.3014734	144.1908
3	-83.101413	122.4629	39.3614875	436.5076497	1028.101839	412.0128
4	-86.32508	127.09385	40.76877	536.2843921	1928.197451	772.727
5	-90.285255	122.4629	32.177645	615.7648017	3040.040338	1218.299
6	-94.760493	117.83195	23.0714575	673.7314433	4314.242553	1728.937
7	-100.85802	111.65735	10.7993325	702.7053896	5691.143575	2280.731
8	-104.70254	104.9682	0.2656575	706.7935287	7107.099184	2848.177
9	-101.86517	100.8518	-1.0133675	707.8599712	8529.143644	3418.063
10	-96.774793	95.7063	-1.0684925	708.796181	9953.553736	3988.897
11	-92.753093	84.90075	-7.8523425	693.7055451	11361.24391	4553.03
12	-88.914288	75.1243	-13.7899875	664.5872229	12716.71226	5096.235
13	-80.017513	67.9206	-12.0969125	636.4667905	14008.11343	5613.765
14	-75.289643	60.20235	-15.0872925	607.2855851	15231.82705	6104.17
15	-79.971543	53.770475	-26.2010675	548.8460664	16348.4926	6551.675
16	-84.614893	48.110425	-36.5044675	468.0648052	17298.34111	6932.327
17	-84.790793	43.2222	-41.5685925	371.3195286	18038.48636	7228.941
18	-79.392018	36.62035	-38.7716675	280.8194874	18558.81059	7437.862
19	-75.061918	37.304875	-37.7570425	195.0789978	18872.95069	7563.354
20	-70.693268	36.275775	-34.4174925	117.228195	18992.84857	7611.403
21	-70.714968	36.275775	-34.4381925	39.32612588	18928.78337	7585.721
22	-75.127018	37.304875	-37.8221425	-46.56816242	18671.19373	7482.499
23	-79.500518	39.62035	-39.8801675	-137.3245349	18204.95549	7295.854
24	-84.942693	43.2222	-41.7204925	-232.4286752	17519.16953	7020.825
25	-84.810193	48.110425	-36.6997675	-315.6713526	16622.71138	6661.588
26	-80.210243	53.770475	-26.4397675	-374.6747801	15558.22503	6234.974
27	-75.571743	60.20235	-15.3693925	-407.5244466	14385.2372	5764.898
28	-80.343013	67.9206	-12.4224125	-433.4118729	13142.86619	5267.017
29	-89.283188	75.1243	-14.1588875	-463.4017213	11834.49014	4742.684
30	-93.165393	84.90075	-8.2646425	-479.466416	10471.71217	4196.549
31	-97.230493	95.7063	-1.5241925	-479.6067975	9089.791946	3642.743
32	-102.36427	100.8518	-1.5124675	-479.7194787	7707.572794	3068.817
33	-105.24504	104.9682	-0.2768425	-478.9129958	6328.535696	2536.187
34	-101.44392	111.65735	10.2134325	-449.3232383	4985.404157	1997.906
35	-95.389793	117.83195	22.4421575	-362.843118	3741.580161	1469.442
36	-90.957955	122.4629	31.504945	-314.9521621	2656.481999	1064.588
37	-87.04113	116.2883	29.24712	-242.3953179	1749.100301	700.9637
38	-83.860613	101.623625	17.7627125	-196.9703863	981.0845752	393.1706
39	-43.992948	81.041625	37.0486775	-105.9823625	374.2066532	149.9837
40	0	0	0	0	0	0

esume kondisi 2 hogging

	q(x)	a(x)	p(x)	Q	M	Gn
0	0	0	0	0	0	0
1	-4.1259125	0	-4.1259125	-6.165382584	-53.64851385	-21.4997
2	-43.190048	7.2037	-35.9863475	-87.60104286	-210.7757596	-84.4686
3	-83.101413	21.353825	-61.7475875	-229.8976326	-632.1867257	-253.349
4	-86.32508	36.790325	-49.534755	-343.3414056	-1355.690985	-543.295
5	-90.285255	48.3877	-41.917555	-438.7895438	-2325.948835	-932.128
6	-94.760493	54.02775	-40.7327425	-531.4385621	-3518.39644	-1410
7	-100.85802	59.6878	-41.1702175	-625.1211152	-4930.948215	-1976.08
8	-104.70254	65.605125	-39.0974175	-713.9066784	-6559.040452	-2628.54
9	-101.86517	71.779725	-30.0854425	-781.4014506	-8371.738835	-3354.98
10	-96.774793	80.78435	-15.9904425	-815.5967853	-10304.55866	-4129.56
11	-92.753093	89.274425	-3.4786675	-820.2330516	-12283.24831	-4922.52
12	-88.914288	95.963575	7.0492875	-799.9970241	-14243.51074	-5708.1
13	-80.017513	102.91	22.8924675	-742.3314367	-16111.75189	-6456.8
14	-75.289643	109.59915	34.3095075	-657.6931396	-17811.89658	-7138.14
15	-79.971543	115.77375	35.8022075	-569.5283366	-19307.9176	-7737.67
16	-84.614893	121.4338	36.8189075	-478.961584	-20592.81198	-8252.59
17	-84.790793	126.5793	41.7885075	-376.6541493	-21649.87372	-8676.21
18	-79.392018	129.6666	50.2745625	-254.2983625	-22441.55203	-8893.47
19	-75.061918	131.7248	56.6628825	-116.8502169	-22926.33695	-9187.75
20	-70.693268	133.783	63.0897325	35.78136187	-23068.46519	-9244.71
21	-70.714988	133.783	63.0680325	188.3616744	-22850.06188	-9157.18
22	-75.127018	131.7248	58.5977825	325.6560212	-22289.24413	-8932.44
23	-79.500518	129.6666	50.1660825	447.7554768	-21422.01746	-8584.89
24	-84.942593	126.06475	41.1220575	548.4884234	-20291.57	-8131.87
25	-84.810193	119.89015	35.0799575	634.9469086	-18940.00267	-7590.22
26	-80.210243	114.74465	34.5344075	720.1165321	-17385.69964	-6967.34
27	-75.571743	109.59915	34.0274075	804.088368	-15631.59826	-6264.38
28	-80.343013	102.91	22.5669875	860.9849616	-13711.09604	-5494.74
29	-89.283188	95.963575	6.6803875	880.3494628	-11700.51041	-4688.99
30	-93.165393	84.128925	-9.0364675	862.582694	-9688.03722	-3882.49
31	-97.230493	74.0952	-23.1352925	811.5078512	-7756.883182	-3108.58
32	-102.36427	69.46425	-32.9000175	737.3636456	-5973.644383	-2393.94
33	-105.24504	64.8333	-40.4117425	645.4729898	-4388.534263	-1757.91
34	-101.44392	58.14415	-43.2997675	546.7593746	-3024.575439	-1212.1
35	-95.389793	52.4841	-42.9056925	448.9787617	-1894.727783	-759.314
36	-90.957955	46.3095	-44.848455	347.0768725	-1000.755083	-401.054
37	-87.04118	36.0185	-51.02268	230.1178767	-365.3094416	-146.398
38	-83.660913	23.15475	-60.7061625	90.28165348	-33.20315229	-13.3062
39	-43.992948	7.71825	-36.2746975	8.164766334	36.72102544	14.71599
40	0	0	0	0	0	0

No.	Nama Bagian	Jml.	Luas (A) [cm ²]	Total Luas (A) [cm ²]	Titik Berat (Y) [cm]	Titik Berat thdp dasar (z1) [cm]	A _y x z [cm ³]	Momen Inersia Individu (I.) [cm ⁴]	a (5) - z ₁ [cm]	a ² [cm ²]	I _y + (a ² x A) [cm ⁴]	Momen Inertia Total (I) [cm ⁴]
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1.	Pelat Lunas	1	195.0000	195.0000	0.8500	0.8500	126.7500	27.4825	-1.3503	1.8232	382.9854	382.9854
2	Pelat Alas	2	948.0000	1896.0000	0.8000	0.8000	1137.6000	113.7600	-1.4003	1.9607	1972.5225	3945.0449
3.	Pelat Alas Dalam	2	528.0000	1056.0000	0.4000	80.4000	84902.4000	28.1600	78.3987	8146.5197	3245390.5559	6490781.1117
4.	Penumpu Tengah	2	150.0000	300.0000	75.0000	75.0000	22500.0000	281250.0000	72.9997	5328.9625	1080594.3698	2161188.7397
5	Penumpu Samping	2	180.0000	360.0000	100.0000	100.0000	36000.0000	600000.0000	97.9997	9603.9498	2326710.9301	4657421.8601
6.	Pembujur Alas	20	20.7900	415.8000	9.9721	9.9721	4146.3900	488.8971	7.9718	63.5498	1810.1001	36202.0017
7.	Pembujur Alas Dalam 1	10	19.0000	190.0000	8.2171	88.2171	16761.2490	304.6878	86.2168	7433.3440	1415382.2382	1415382.2382
8	Pembujur Alas Dalam 2	10	20.7900	207.9000	9.9721	89.9721	16705.1996	488.8971	87.9718	7739.0451	161383.6457	1613836.4567
9	Pelat Bilga	2	150.0000	300.0000	0.3214	0.3214	96.4181	116210.8897	-1.6789	2.8188	233267.3540	233267.3540
10	Pelat Sisi	2	530.0000	1060.0000	285.0000	385.0000	386900.0000	12408418.6887	362.9997	131768.8134	82243887.7455	164487775.4911
11	Pelat sisi dalam	2	567.0000	1134.0000	315.0000	315.0000	357210.0000	12408418.6887	312.9997	97968.8391	67954748.4184	135909496.8329
12	Pelat Geladak	2	855.0000	1710.0000	0.4498	830.4498	1078088.8160	102723.5900	628.4483	394948.5768	337783758.5918	675587513.1839
13	Pembujur Geladak	20	60.5560	1211.1200	5.3308		0.0000	80.1818	-2.0003	4.0010	302.4679	6049.3576
14	Penumpu samping Geladak	4	70.5800	282.2400	28.8517		0.0000	17847.3570	-2.0003	4.0010	18129.6696	72518.8782
15	Penumpu tengah geladak	1	80.8800	80.8800	30.9107		0.0000	20919.0124	-2.0003	4.0010	20942.6155	20942.6155
16	Senta sisi											
	a. Bagian bawah											
	150x90x9	2	20.7900	41.5800	9.9721	72.9721	3034.1799	488.8971	70.9718	5037.0025	105208.1788	210416.3576
	150x90x9	2	20.7900	41.5800	9.9721	135.9721	5853.7199	488.8971	133.9718	17948.4547	373637.2702	747274.5404
	150x90x9	2	20.7900	41.5800	9.9721	198.9721	8273.2599	488.8971	198.9718	38797.9089	807097.3818	1614184.7631
	b. Bagian atas											
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	260.2171	9888.2500	304.6878	258.2168	66875.9407	1267147.5808	2534295.1215
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	323.2171	12282.2500	304.6878	321.2168	103180.2636	1960729.6953	3921459.3906
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	386.2171	14876.2500	304.6878	384.2168	147622.5864	2805133.8298	5610267.6597
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	449.2171	17070.2500	304.6878	447.2168	200002.9083	3800359.9644	7600719.9287
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	512.2171	19464.2500	304.6878	510.2168	260321.2322	4946408.0989	9892818.1978
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	575.2171	21858.2500	304.6878	573.2168	328577.5550	6243278.2334	12488556.4689
17	Senta sisi dalam											
	a. Bagian bawah											
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	71.2171	2706.2500	304.6878	69.2168	4790.9721	91333.1571	182666.3143
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	134.2171	5100.2500	304.6878	132.2168	17481.2949	332449.2917	664898.5834
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	197.2171	7494.2500	304.6878	195.2168	38109.6178	724387.4262	1448774.8524
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	260.2171	9888.2500	304.6878	258.2168	66875.9407	1267147.5808	2534295.1215
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	323.2171	12282.2500	304.6878	321.2168	103180.2636	1960729.6953	3921459.3906
	125x75x10	2	19.0000	38.0000	8.2171	386.2171	14876.2500	304.6878	384.2168	147622.5864	2805133.8298	5610267.6597
	b. Bagian atas											
	125x75x7	2	13.5100	27.0200	8.3288	449.3288	12140.8642	221.4425	447.3285	200102.8253	2703610.8124	5407221.2247
	125x75x7	2	13.5100	27.0200	8.3288	512.3288	13843.1242	221.4425	510.3285	260435.2217	3518701.2878	7037402.5756
	125x75x7	2	13.5100	27.0200	8.3288	575.3288	15545.3842	221.4425	573.3285	328705.6181	4441034.3433	8882068.6868
			$\Sigma_1 =$		11080.7400	$\Sigma_2 =$		2212432.3550	$\Sigma_3 =$		1072983758.7863	

Titik Berat :

$$z_1 = Y_{\text{tottom}} = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} \quad [\text{cm}] = \frac{200.0257 \text{ :m}}{2.0003 \text{ m}}$$

$$z_2 = Y_{\text{deck}} = H - z_1 \quad [\text{cm}] = \frac{999.9743 \text{ :m}}{9.9997 \text{ m}}$$

Momen Inersia Total :

$$I_{\text{ty}} = \Sigma_3 \quad [\text{cm}^4]$$

$$= 1072983758.7863 \text{ cm}^4$$

$$= 10.729837587863 \text{ m}^4$$

Modulus Penampang terhadap Dasar :

$$W = I_{\text{na}}/z_1$$

$$= 5364229.283 \quad \text{cm}^3$$